

様式6

論文目録

報告番号	甲工 乙工第 工修	93	号	氏名	黒瀬能事
学位論文題目	3次元CAD学習支援システムに関する研究				
論文の目次					
第1章	緒論				
第2章	CAD教育の目的と問題点				
第3章	スタンドアローン型CAD学習システム				
第4章	CAD教育とインターネット				
第5章	ネットワーク型CAD学習システム				
第6章	システムの評価				
第7章	結論				
参考論文					
主論文					
[1] “自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムの構築と評価”, 黒瀬能事, 矢野米雄, 富田 豊, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 11, pp. 2001-2009, 1996.					
[2] “インターネットを利用した3次元CAD学習支援システムの構築”, 黒瀬能事, 矢野米雄, 富田 豊, 電子情報通信学会論文誌(採録決定).					
副論文					
[1] “The 3D-CAD Learning Support System using Internet”, Y. Kurose, Y. Yano and Y. Tomita, International Symposium on Educational Revolution with Internet, pp. 169-174, Fukuoka, Japan December(1996).					

備考

- 1 論文の題目は, 用語が英語以外の外国語のときは日本語訳をつけて, 外国語, 日本語の順に列記すること。
- 2 参考論文は, 論文題目, 著者名, 公刊の方法及び時期を順に明記すること。
- 3 参考論文は, 博士論文の場合に記載すること。

報告番号	甲 工 乙 工 第 工 修	93 号	氏 名	黒 瀬 能 幸
学位論文題目	3次元CAD学習支援システムに関する研究			
<p>内容要旨</p> <p>多くの工学系大学では、従来の設計製図にかえて、CAD システムを利用した CAD 教育を実施している。大学における CAD 教育としては、2次元CAD システムによる単なる製図教育に留まるのではなく、3次元CAD を目指した教育の必要性が叫ばれている。</p> <p>3次元CAD では、より自由な形状設計を行うために、自由曲線や自由曲面の取り扱いが重要なテーマの1つである。</p> <p>3次元CAD で扱う自由曲線や自由曲面は、3次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル、制御点の接線ベクトルや重みなどを与えて表現する。初心者にとっては、コンピュータグラフィックス上に表示される曲線や曲面と、自由曲線や曲面創成式が持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる。本論文では、3次元CAD 教育を進める上で、学習者にとって理解が困難であると考えられる自由曲線や自由曲面の創成を支援する学習システムに関する研究成果をまとめたものであり、次の7章から構成する。</p> <p>第1章の緒論では、本研究の目的を述べ、本研究の位置づけを行うと共に、本研究によって得られた諸成果を概説する。</p> <p>第2章では、工学系の大学で実施されているCAD 教育の現況、CAD 教育の目的、および実際にCAD 教育を実施する場合の問題点について言及する。</p> <p>第3章では、第2章で述べた問題解決策の1つとして、パーソナルコンピュータによる手軽なスタンドアローン型学習システムを提案する。本システムは、フロッピーディスク1枚に収まる手軽なシステムであるが、黒板の講義と実際のCAD システムによる実習だけでは理解しにくい自由曲線や自由曲面の創成原理を、学習者がコンピュータと対話しながら学習を進めることで、理解を助けることに特徴がある。</p> <p>第4章では、第3章で提案したシステムの問題点を述べ、より充実した学習環境を提供するネットワーク型CAD 学習システムの可能性を探る。スタンドアローン型学習システムは、教材管理の困難さ、学習履歴収集の困難さ、マルチメディア化の困難さ等の問題点が残っていた。一方、近年のマルチメディア化が可能なインターネットの普及に伴い、インターネットを教育に利用する試みが各地で開始された。インターネットを利用することで、スタンドアローン型学習システムの問題点は解決する。</p> <p>第5章では、第4章で考察したインターネットを利用したネットワーク型CAD 学習システムを提案する。インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用したネットワーク型学習システムは、大学内の利用に留まらず、広く学内外からの利用が可能になり、生涯学習、社会人教育への展開が計れる。</p> <p>第6章では、提案した2つのシステムを実際の教育現場に持ち込み、教育効果を検証した結果を述べた。提案した学習システムは、3次元CAD教育のような、講義と市販CADシステムによる実習だけでは理解が困難な教育に有効であることが分かった。</p> <p>第7章は結論であり、本研究で得られた諸結果をまとめると共に、今後の課題について述べる。</p> <p>本研究の成果は、他の教科にも応用が可能であり、教育の効率化に寄与するものと信じる。</p>				

3次元CAD学習支援システムに
関する研究

1997年3月

黒瀬能聿

3次元CAD学習支援システムに
関する研究

1997年3月

黒瀬 能 幸

内 容 梗 概

多くの工学系大学では、従来の設計製図にかえ、CAD システムを利用した CAD 教育を実施している。大学における CAD 教育としては、2 次元 CAD システムによる単なる製図教育に留まるのではなく、3 次元 CAD を目指した教育の必要性が叫ばれている。

3 次元 CAD では、より自由な形状設計を行うために、自由曲線や自由曲面の取り扱いが重要なテーマの 1 つである。

3 次元 CAD で扱う自由曲線や曲面は、3 次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル、制御点の接線ベクトルや重みなどを与えて表現する。初心者にとっては、コンピュータグラフィックス上に表示される曲線や曲面と、自由曲線や曲面創成式が持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる。

本論文では、3 次元 CAD 教育を進める上で、学習者にとって理解が困難であると考えられる自由曲線や曲面の創成を支援する学習システムに関する研究成果をまとめたものであり、次の 7 章から構成する。

第 1 章の緒論では、本研究の目的を述べ、本研究の位置づけを行うと共に、本研究によって得られた諸成果を概説する。

第 2 章では、工学系の大学で実施されている CAD 教育の現況、CAD 教育の目的、および実際に CAD 教育を実施する場合の問題点について言及する。

第 3 章では、第 2 章で述べた問題解決の 1 つとして、パーソナルコンピュータによる手軽なスタンドアローン型 CAD 学習システムを提案する。本システムは、フロッピーディスク 1 枚に収まる手軽なシステムであるが、黒板の講義と実際の CAD システムによる実習だけでは理解しにくい自由曲線や曲面の創成原理を、学習者がコンピュータと対話しながら学習を進めることで、理解を助け

ることに特徴がある。

第4章では、第3章で提案したシステムの問題点を述べ、より充実した学習環境を提供するネットワーク型CAD学習システムの可能性を探る。スタンドアローン型CAD学習システムは、教材管理の困難さ、学習履歴収集の困難さ、マルチメディア化の困難さ等の問題点が残っていた。一方、近年のマルチメディア化が可能なインターネットの普及に伴い、インターネットを教育に利用する試みが各地で開始された。インターネットを利用することで、スタンドアローン型CAD学習システムの問題点は解決する。

第5章では、第4章で考察したインターネットを利用したネットワーク型CAD学習システムを提案する。インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用したネットワーク型学習システムは、大学内の利用に留まらず、広く学内外からの利用が可能になり、生涯学習、社会人教育への展開が計れる。

第6章では、提案した2つのシステムを実際の教育現場に持ち込み、教育効果の検証を行い、システムの評価について述べる。

第7章は結論であり、本研究で得られた諸結果をまとめると共に、今後の課題について述べる。

関 連 発 表 論 文

【主論文】

- [1] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムの構築と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 11, pp. 2001-2009 (1996) .
- [2] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD学習支援システムの構築”, 電子情報通信学会論文誌 (採録決定) .

【副論文】

- [1] Y. Kurose, Y. Yano, Y. Tomita: “The 3D-CAD Learning Support System using Internet”, International Symposium on Educational Revolution with Internet, pp.169-174, Fukuoka, Japan December (1996) .

【講演論文】

- [1] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムとその教育効果”, 教育システム情報学会第20回全国大会講演論文集, pp. 323-326 (1995).
- [2] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの構築”, 電気・情報関連学会中国支部第46回連合大会講演論文集, pp. 315-316 (1995).
- [3] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システム”, 日本OR学会中国・四国支部ネットワーク研究部会研究会論文集, pp. 45-48 (1996).
- [4] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの構築”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET95-115, pp. 25-32, Mar (1996).
- [5] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの実習環境”, 教育システム情報学会第21回全国大会講演論文集, pp. 241-244 (1996).
- [6] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD学習システムの概要とデモ”, 教育システム情報学会研究報告, Vol. 96, No. 2, pp. 9-16 (1996).
- [7] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “3次元CAD教育システムにおける実習環境の構築”, 電気・情報関連学会中国支部第47回連合大会講演論文集, pp. 466-467 (1996).

目 次

内容梗概	i
関連発表論文	iii
目 次	v
第1章 緒 論	1
第2章 CAD教育の目的と問題点	7
2.1 緒 言	7
2.2 CAD教育の目的	8
2.3 CAD教育の問題点	9
2.4 結 言	17
第3章 スタンドアローン型CAD学習システム	18
3.1 緒 言	18
3.2 システムの目標	19
3.3 システムの学習支援範囲	20
3.4 システムの構成と機能	23
3.4.1 ユーザインターフェース部	24
3.4.2 データベース制御部	25
3.5 システムの実現	27

3.5.1 基本的データ構造	27
3.5.2 オーバーレイ構造	28
3.5.3 実習機構	28
3.6 システムの実装	30
3.7 操作例	32
3.8 結 言	36
第4章 CAD教育とインターネット	37
4.1 緒 言	37
4.2 CAD学習システムの問題点	38
4.3 インターネットの利用	39
4.4 結 言	41
第5章 ネットワーク型CAD学習システム	42
5.1 緒 言	42
5.2 システムの目標	44
5.3 システムの学習支援範囲	45
5.4 システムの構成と機能	47
5.4.1 サーバシステム	47
5.4.2 クライアントシステム	51
5.5 システムの実現	53
5.5.1 基本的システム構成	53
5.5.2 実習機構	54
5.6 システムの実装	56
5.7 実習例	58
5.8 結 言	65
第6章 システムの評価	66
6.1 緒 言	66

6.2 スタンドアローン型システムの評価	67
6.3 ネットワーク型システムの評価	71
6.4 結 言	74
第7章 結 論	76
謝 辞	79
参考文献	80

図目次

図 1. 1	代表的な自由曲線・曲面の発展系譜	3
図 2. 1	曲線と制御点	11
図 2. 2	Ferguson 曲線	12
図 2. 3	Bézier 曲線	14
図 3. 1	システム概念図	23
図 3. 2	マウス入力インタフェース	24
図 3. 3	キー入力インタフェース	25
図 3. 4	テキスト教材の一部	26
図 3. 5	教材のデータ構造	27
図 3. 6	Bézier 曲面の解説画面	32
図 3. 7	Bézier 曲面の実習画面	33
図 3. 8	総合実習画面	35
図 5. 1	システム構成図	47
図 5. 2	システムのモジュール構成	48
図 5. 3	教材データの一部	49
図 5. 4	目安箱のページ	50
図 5. 5	「実行くん」起動画面	52
図 5. 6	実習環境	54
図 5. 7	ヘルプウィンドウ	55
図 5. 8	学習支援システムのホームページ (Java バージョン)	58
図 5. 9	Bézier 曲面の理論学習	59
図 5. 1 0	B-Spline 曲線の逆変換実習 (Java バージョン)	60
図 5. 1 1	Bézier 曲面の創成実習 (Java バージョン)	61
図 5. 1 2	VRML による曲面表示 (Java バージョン)	61
図 5. 1 3	総合実習による作品例 (VB4 バージョン)	64

図 6. 1	アンケート調査結果	69
図 6. 2	システムの総合評価	73

表目次

表 1.1	自由曲線と曲面の条件	2
表 2.1	一般的なCAD教育の内容	9
表 2.2	CAD教育の概要	10
表 3.1	学習システムの学習項目一覧	20
表 3.2	教材モジュール一覧	30
表 3.3	実習用プログラムモジュール一覧	31
表 5.1	学習システムの学習項目一覧	45
表 5.2	システム構成	57
表 6.1	実験方法	67
表 6.2	実験方法	71

第1章

緒 論

近年, CAD (Computer Aided Design) への期待が高まり, CAD システムは有用な設計/製造/解析ツールとして多くの企業で利用されている。

一方, 社会の変化に対応して, 工学系の大学においても, 従来の製図板とドラフタによる製図教育から, CAD システムを利用した CAD 教育に変わってきた。しかし, ここで行われている CAD 教育の多くは Computer Aided Drawing の CAD 教育であり, 操作面の教育が主体となっている。

小型・高性能なワークステーション (WS) およびパーソナルコンピュータ (PC) の高性能化に伴い, CAD システムも初期の 2 次元 CAD システムから, 立体的な 3 次元物体の形状設計が可能な 3 次元 CAD システムが主流になってきた。CAD システムの 3 次元化が進む中で, 大学における CAD 教育も, 3 次元 CAD を指向する必要がある。

3 次元 CAD 教育の到達目標をどのレベルに設定するか。ここでは, “自由曲面を含む 3 次元形状物体を設計することができる能力の育成” という立場に立てば, CAD 教育の中でも, より自由な形状設計を可能にする自由曲線や曲面の創成原理について十分教育しておく必要がある。

さて, 各大学では様々な形で CAD 教育を実施しているが, 島田ら [1] は, 3 次元 CAD 教育の中でも, 形状処理の理解, 空間認識の訓練, 形状データのデータ構造の理解, 学生自身による形状作成などを目的とした教育を実施している。また, 邊ら [2] は, CAD 教育を製図教育に限定し, 市販 CAD システムに独自のヘルプ機能を付加し, CAD 教育支援システムの構築を行っている。しかし, いずれも自由曲線や曲面の創成は教育目標に入っていない。

さらに、千代倉[3]は、市販のソリッドモデラを利用して、自由曲面形状創成を含む3次元モデリングを体験させる教育を実施しているが、WSの環境が必要である。大学・高専等の実習において使用可能なシステム、すなわち低価格で手軽なシステムが今後の課題となっている。

さて、3次元CADで使用される自由曲線や曲面は表1.1の条件を満足する必要がある。これらの条件を満足する自由曲線や曲面は、初期の成果としてFerguson曲線・曲面[4]、Coons曲面[5],[6]があるが、制御性や接続性に難点があった。

表1.1 自由曲線と曲面の条件

条 件	意 味
表現性にすぐれている。	設計者の意図する形状を忠実に表現できる。
制御性にすぐれている。	形状変更が容易である。
接続性にすぐれている。	複数の曲線や曲面の接続が滑らかである。

次に、接続性を改善する目的でSpline補間曲線・曲面が考えられたが、制御性に問題点を残していた。

その後のBézier曲線・曲面[7],[8]は制御性の問題は解決したが、接続性に問題点を残していた。

一方、GordonとRiesenfeldの考案によるB-Spline曲線・曲面[9]はBézier

曲線・曲面と似た性質を有していたので、Spline補間曲線・曲面の持つ接続性と、Bézier曲線・曲面の持つ制御性を兼ね備えた自由曲線・曲面であるといえる。

最近では、制御点に重みを加えて制御性をさらに高める有理B-Spline曲線・曲面や有理Bézier曲線・曲面[10]~[13]が報告され、実際のCADシステムにインプリメントされ、実用化されている[14],[15]。これらの自由曲線や曲面の発展の系譜を図1.1(山口[16]に付加したもの)に示す。

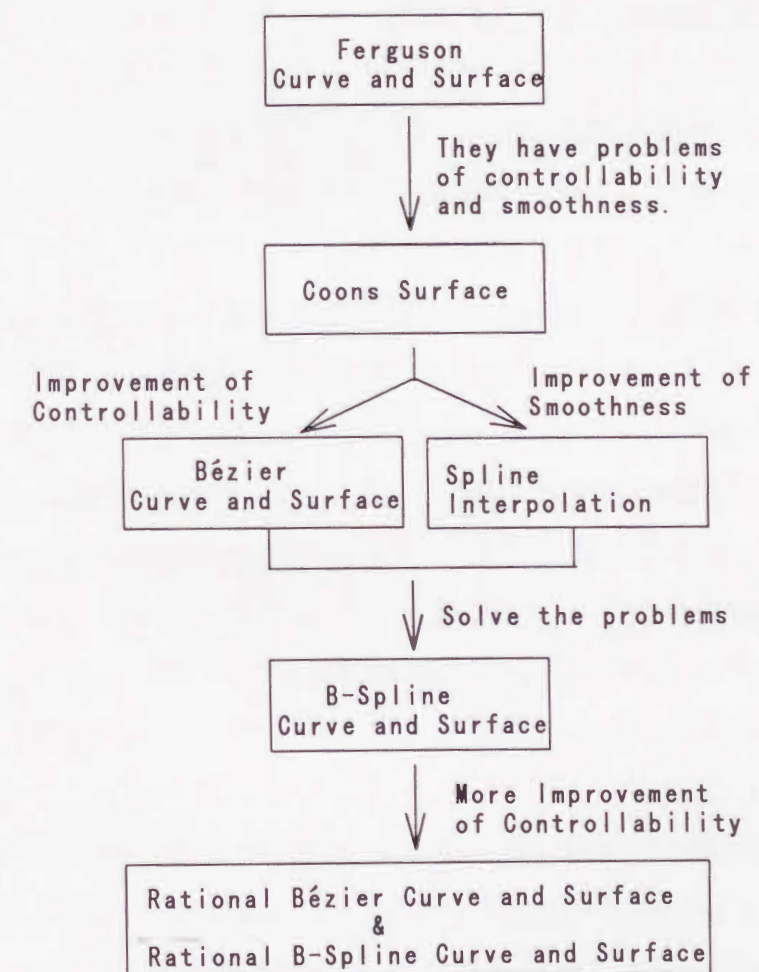


図1.1 代表的な自由曲線・曲面の発展系譜

しかし、このような自由曲線や曲面の創成原理を教授する場合には次のような問題点がある。

- ① 講義では理論が中心になり、学生にとっては、具体的な3次元の曲線や曲面をイメージすることが困難である。
- ② 実際のCADシステムによる実習では、自由曲線や曲面による形状を作成するための単なる操作に終わり、創成原理を理解できない。

筆者は、これまで3次元CADの理解に必要なアフィン変換、3次元表示技術などに関する一連の内容を、CAGD(Computer Aided Geometric Design)に関連する基礎的な教育システムとして報告した[17]。

ここでは、

- (1) 自由曲線や曲面の知識が乏しい。
- (2) 理論面の講義だけでは、具体的な自由曲線や曲面をイメージすることが困難である。

のような学習者を対象とした2つの学習支援システムを提案する。

最初のシステムはPCによるスタンドアローン型CAD学習システム[18]～[20]である。(1)については、コンピュータディスプレイに説明文と共に、各種の自由曲線や曲面を提示することによって学習者の知識の不足を補った。(2)については、学習者とコンピュータの対話環境の実習を通じて、理解を助ける工夫をすることによって実現した。

2番目のシステムはネットワーク型CAD学習システム[30]～[36]である。スタンドアローン型システムでは、

- (1) 教材管理の困難さ
- (2) 学習履歴、学習結果等データ収集の困難さ
- (3) マルチメディア化の困難さ
- (4) MS-DOSマシンメモリ空間制限に伴うCAIシステムの機能の限界等の問題点があった。

一方、昨今のPC環境の改善、すなわち、

- (1) CUI環境からGUI環境変化に伴う、ユーザインタフェースの改善
- (2) メモリ空間の大幅な拡大
- (3) インターネットを代表するネットワーク環境の整備

等により、各種の制限が緩和されつつある。特に、最近のインターネットの普及には目を見張るものがあり、インターネットを教育に利用する試みが各地で開始された[21]～[29]。これらは、インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用して、先に述べたPCのスタンドアローン環境によるCAIの問題点の解決を計るものである。インターネットを利用することで、スタンドアローン型システムの問題点は解決する。ネットワーク型システムは、インターネット上で展開することで、大学内の利用に留まらず、広く学内外からの利用が可能になり、学生教育だけでなく、生涯学習や社会人教育に有効な教育環境となりうる。

従来から提案されている伝統的CAIでは、学習者は受身的で、提示された教材に従って学習し、問題解答入力をするだけである。一方、ITS等知的CAIでも、自由な入力を許すように設計されているが、人工知能技術の未熟さのために、実際に使用されているシステムは皆無である。しかし、提案する2つのシステムでは、学習者自身がシステムに働きかけていき、実習ツールを利用して学習者独自の学習が可能で、従来のCAIとは一線を画す。

実際に本システムを教育で利用すると、学習者はシステムに積極的に働きかけを行い、講義だけで理解し難い自由曲線や曲面を簡単に創成し、その中で発見的学習をしている様子を見ることができる。

本論文は、以下のように構成されている。第2章ではCAD教育の目的、および実際にCAD教育を実施する場合の問題点について述べる。第3章では、第2章で述べた問題点を解決するための方法として、スタンドアローン型CAD学習システムを提案し、その構築法について述べる。第4章では、第3

章で提案したシステムの問題点について述べ、より充実した学習環境を提供するネットワーク型 CAD 学習システムの可能性を探る。第5章は、第4章で考察したネットワーク型 CAD 学習システムを提案し、その構築法について述べる。第6章では、提案した2つの学習支援システムを実際の教育現場に持ち込み、教育効果の検証を行った結果を述べる。第7章に結論を述べる。

第2章

CAD教育の目的と問題点

2.1 緒 言

機械系設計および産業デザイン分野での3次元化が進む中で、大学における CAD 教育も、3次元 CAD 教育を指向する必要がある。しかし、多くの大学では CAD 教育と称して、従来の製図板とドラフタによる製図教育を、CAD システムを利用した Computer Aided Drawing の CAD 教育を実施している傾向が強い。

WS や PC の高性能化に伴い、CAD システムも2次元図面を扱う初期の2次元 CAD、2次元 CAD に高さが加わった2.5次元 CAD を経て、現在は3次元物体の形状設計が可能な3次元 CAD システムが主流になってきた。

CAD システムの3次元化が進む中で CAD 教育の到達目標をどのレベルに設定するか、ここでは、“自由曲面を含む3次元形状物体を設計することができる能力の育成”という立場に立てば、CAD 教育の中でも、より自由な形状設計を可能にする自由曲線や曲面の創成原理について十分教育しておく必要がある。2.2節では大学における CAD 教育の目的を、2.3節では CAD 教育を進める場合の問題点を明らかにする。

2.2 CAD教育の目的

2次元CADシステムは、従来の手書きによる設計製図を、コンピュータ支援による設計製図に置き換えたもので、製図の省力化を目指したものである。

しかし、望ましいCADシステムは、上流の設計から下流の製造までの全工程を支援するトータルな設計支援ツールであるべきで、3次元情報を2次元の図面情報にするだけの2次元CADでは機能不足である。設計から製造および完成した製品のプレゼンテーションまでを一貫したデータで扱うには、3次元モデルを直接取り扱うことの可能な3次元CADが必須で、大学におけるCAD教育も3次元CADを指向したものでなければならない。

したがって、ユーザの立場に立つ学生のCAD教育の目的は、“CADシステムを利用し、単にきれいに作図できる能力を育成することではなく、CADシステムを設計の道具として利用できる能力”を育成することにある。

一方、将来CADシステムを開発する側に回る学生には、“3次元CADシステムに採用されているデータ構造、表示技術、自由曲線や曲面の創成理論など各種理論を正しく教育しておく必要”がある。

そのためには、CAD教育の内容も、CADシステムが有する多くの機能を正しく理解させ、応用できるような教授内容にすべきである。

2.3 CAD教育の問題点

一般に必要と考えられるCAD教育の内容は、開講する専攻学科、学年および開講時間数によって講義内容、履修方法を考慮しなければならないが、表2.1に示す項目が必要であると考えられる。

表2.1 一般的なCAD教育の内容

項目番号	教育項目	教育内容
①	3次元データ構造	ワイヤフレームモデル、サーフェースモデル、ソリッドモデル(CSG, B-Reps)についてそれぞれのデータ構造の違いや各モデルの特徴を正しく認識させる。
②	アフィン変換、射影変換等の原理	CGで必要となる各種変換原理を理解させる。
③	表示に関する技術	座標変換、隠線や隠面消去など表示技術を理解させる。
④	各種基本物体の生成とその応用	コンピュータ内にプリミティブと呼ぶ基本物体を生成させ、プリミティブ相互の集合演算による3次元物体の生成方法を理解させる。
⑤	自由曲線や曲面	自由曲線・曲面の創成原理とそのモデリングについて理解させる。
⑥	マスプロパティの計算方法	表面積、体積、重量および慣性能率等の計算方法を理解させる。
⑦	各種解析法	有限要素法、境界要素法による解析法とその適用法を理解させる。
⑧	データベース論	データベースの基礎理論およびCADデータベースについて理解させる。

表2.1に示した教育内容は互いに深く関連しており、正しく理解し、活用するには、多くの関連知識を必要とする。したがって、独立した授業科目だけですべてを教授することは不可能に近い。

筆者が所属している学科で実施しているCAD教育の概要を表2.2に示す。いずれの科目でも、限られた時間内に学生全員に多くのことを修得させることは非常に難しいが、ここでは、特に表2.1の⑤の自由曲線や曲面に関する教育の難しさについて考察する。

表2.2 CAD教育の概要

開講学年	科目名	教育内容
3年前期	図形処理工学	表2.1の①～③
3年後期	形状設計CAD	表2.1の④、⑤を核として、関連あるところで⑥、⑦、⑧
3年後期	電子情報工学実験IV	CADシステムによる3次元形状設計を2テーマ

自動車やビデオカメラなどのような複雑な形状をしている工業製品は、単一の表現式では取り扱えないので、いくつかの基本的な曲線セグメントや曲面パッチに分け、これらを滑らかに接続して任意の曲線や曲面を表現する方法がとられる。このような自由曲線や曲面は、表1.1で示した3つの条件（表現性、制御性、接続性）を同時に満足するような数式表現を必要とする。

以上の条件を満足する自由曲線や曲面はこれまでに種々考案されてきた[4]～[13]。ここでは、自由曲線や曲面で用いられる用語の定義を兼ねて、

曲線のパラメトリック表現、Ferguson曲線、Bézier曲線および有理Bézier曲線について述べる[16],[40]。

(1) パラメトリック表現

CADシステムにおける曲線の数式表現には、パラメトリック表現が採用されている。たとえば、3次元空間曲線の場合、曲線上の1点の座標値 x, y, z がパラメータ t により、

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t)$$

と表される。また、この点の位置ベクトルは、

$$P(t) = \{x(t), y(t), z(t)\}$$

と表される。パラメトリックな曲線は、曲線の制御ポリゴンを使用して、曲線形状の制御が可能である。

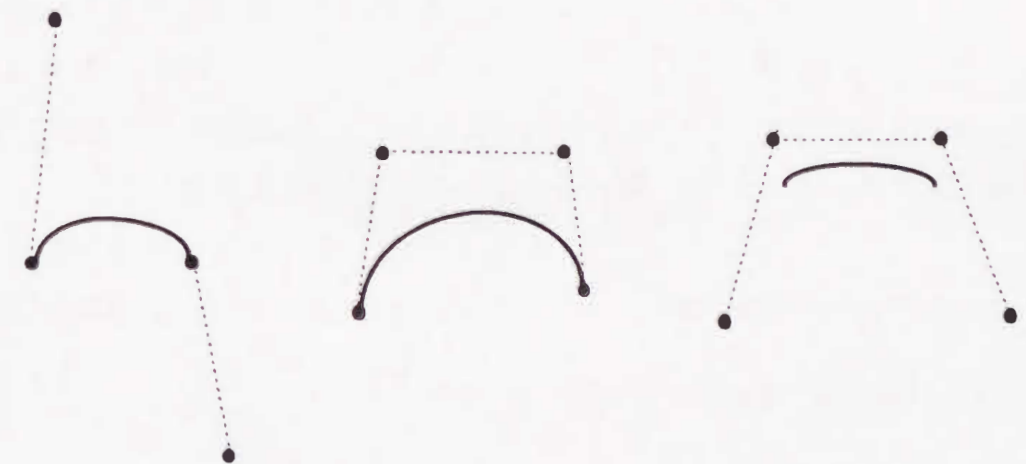


図2.1 曲線と制御点

図2.1において●で示す点を曲線の制御点、制御点で定義される線分列を制御ポリゴンと呼ぶ。曲線形状は制御ポリゴンに近いものとなり、制御ポリゴンを指定して、設計者の意図する曲線形状を創成したり、形状変更を行う。つまり、パラメトリックな表現は制御性に優れた数式表現であるといえる。

(2) Ferguson 曲線

Ferguson 曲線セグメント $P(t)$ は、図2.2に示すように、3次元空間上においてパラメータ $t=0$ のとき、 Q_0 を始点位置ベクトル、始点の接線ベクトルを \dot{Q}_0 、 $t=1$ において、 Q_1 を終点位置ベクトル、終点の接線ベクトルを \dot{Q}_1 とするとき、(2.1) 式で表現できる。

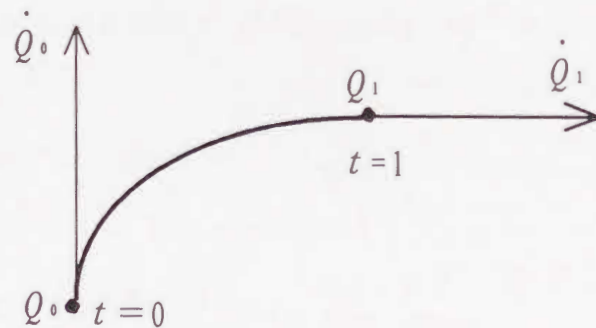


図2.2 Ferguson 曲線

$$P(t) = \begin{bmatrix} H_{0,0}(t) & H_{0,1}(t) & H_{1,0}(t) & H_{1,1}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_0 \\ Q_1 \\ \dot{Q}_0 \\ \dot{Q}_1 \end{bmatrix}$$

$$= H_{0,0}(t)Q_0 + H_{0,1}(t)Q_1 + H_{1,0}(t)\dot{Q}_0 + H_{1,1}(t)\dot{Q}_1 \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2.1)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} H_{0,0}(t) &= 2t^3 - 3t^2 + 1 = (t-1)^2(2t+1) \\ H_{0,1}(t) &= -2t^3 + 3t^2 = t^2(3-2t) \\ H_{1,0}(t) &= t^3 - 2t^2 + t = (t-1)^2t \\ H_{1,1}(t) &= t^3 - t^2 = (t-1)t^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

である。

Ferguson 曲線は、(2.1) 式に示すように、ベクトルデータ $Q_0, Q_1, \dot{Q}_0, \dot{Q}_1$ による1次結合として表現できる。すなわち、1次結合の係数 $H_{0,0}(t), H_{0,1}(t), H_{1,0}(t), H_{1,1}(t)$ の重みで入力データを混ぜ合わせて曲線を創成する。この意味で $H_{0,0}(t), H_{0,1}(t), H_{1,0}(t), H_{1,1}(t)$ をブレンディング関数という。

Ferguson 曲線の形状は(2.1)式からも明らかなように、始点位置ベクトル、終点位置ベクトルは同じでも、始点接線ベクトル、終点接線ベクトルの方向のみならず大きさによっても変化を受ける。

(3) Bézier 曲線

Bézier 曲線は制御ポリゴンさえ決めれば、曲線形状を決定できる。したがって、ポリゴン形状から曲線形状をある程度予測できる。実際のCADシステムで多く採用されている。

3次のBézier曲線は図2.3に示すように4個の制御点から創成される。

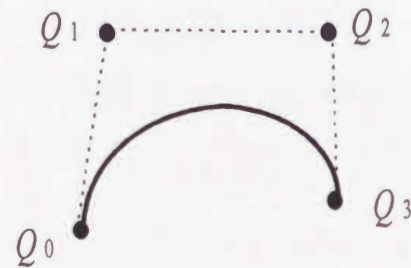


図 2.3 Bézier 曲線

3 次の Bézier 曲線 $P(t)$ は次式で表現できる.

$$P(t) = \sum_{i=0}^3 B_i^3(t) Q_i \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2.3)$$

ここで, $B_i^3(t)$ は Bernstein 基底関数と呼ばれる関数で, 次のように表される.

$$B_i^3(t) = \binom{3}{i} t^i (1-t)^{3-i} \quad (2.4)$$

ここで,

$$\binom{3}{i} = \frac{3!}{(3-i)!i!} \quad (2.5)$$

は 2 項係数である.

Bézier 曲線は, (2.3) 式に示すように, 制御点 Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 による 1 次結合として表現できる.

(4) 有理 Bézier 曲線

(3) で述べた Bézier 曲線は 3 次の多項式曲線であったが, Bézier 曲線のような多項式曲線では, 円錐や楕円などを正確に表現できない. このような欠点を解消する目的で Bézier 曲線を拡張した有理 Bézier 曲線について述べる.

3 次の有理 Bézier 曲線 $P(t)$ は次式で表される.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^3 B_i^3(t) w_i Q_i}{\sum_{i=0}^3 B_i^3(t) w_i} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2.6)$$

ここで, $B_i^3(t)$ は (2.4) 式で示した Bernstein 基底関数である. また, Q_i は制御点の位置ベクトル, w_i は制御点 Q_i が持つ重みである. 制御ポリゴンと曲線形状の関係は Bézier 曲線とほぼ同じであるが, 有理 Bézier 曲線の場合は重みによっても曲線形状を変更できる. なお, すべての重みを 1 にすると通常の Bézier 曲線になる.

以上述べたように, Ferguson 曲線, Bézier 曲線および有理 Bézier 曲線あるいはこれらの曲線を拡張した各種曲面は, 3 次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル, 制御点の接線ベクトルや重みをブレンド関数と混ぜ合わせて表現する. 初心者にとっては, コンピュータグラフィックスの平面上に表示される曲線や曲面と, 自由曲線や曲面創成式が持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる. すなわち, 設計者は意図する物体形状を創成するために,

- (1) どの制御点の位置ベクトルの値をどうするか.
- (2) どの制御点の接線ベクトルの値をどうするか.
- (3) どの制御点の重みを, どの程度の値にするか.

を考える必要がある.

ベテランの設計者は特別なCAD教育を受けてはいないが, 長年の経験と勘によって最適な形状を見つける能力が備わったと考えられる. しかし, 初心者に関係を短期間に理解させるには, 何か特別な工夫を必要とする.

2.4 結 言

3次元CAD教育の目的は, CADシステムによる単なる製図教育に終わらせないために, すなわち, “自由曲面を含む3次元形状物体を設計できる能力の育成”という立場で, CAD教育の中でも, より自由な形状設計を可能にする自由曲線や曲面の創成原理について十分教育しておく必要がある.

学部学生の教育においては, 将来CADシステムを設計の道具にする場合と, CADシステムを開発する場合の教育が考えられる. いずれの場合もCADシステムが有する多くの機能を正しく理解させ, 応用できる教授内容にすべきである.

一般に考えられるCAD教育の内容は, 開講学科, 学年, 開講時間数により講義内容, 履修方法を考慮しなければならない. 限られた時間内に多くのことを修得させるには非常の困難である. 特に, 初心者にとって理解が困難であると考えられる, 自由曲線や曲面に関する教育の難しさについて考察した. 3次元CADに採用されている自由曲線や曲面は制御点と呼ばれる3次元空間上の位置ベクトル, 接線ベクトルおよび制御点の重みを与えて創成する.

しかし, 初心者にとっては, コンピュータグラフィックスの平面上に表示される曲線や曲面と, 自由曲線や曲面創成式が持つこれらの値の関係把握が非常に難しいと考えられる. 解析的な教育を講義で行い, CADシステムによる実習だけでは解決できない問題点が存在することを明らかにした.

第3章

スタンドアローン型CAD学習システム

3.1 緒言

3次元CAD教育の中でも、より自由な形状設計を行うために、自由曲線や曲面の創成原理をどのように教育するかが、大きな課題の1つである。

3次元CADシステムに採用されている自由曲線や曲面は、3次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル、制御点の接線ベクトルや重みを与えて創成する。初心者にとって、教科書あるいはコンピュータグラフィックスの平面上に表示された自由曲線や曲面と、自由曲線、曲面の創成式が持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる。

筆者の目指すCAD教育は、コンピュータによる単なる製図教育ではなく、CADシステムによる形状設計教育あるいは将来CADシステムを開発するような立場に回る学生の教育であるから、講義と実習を通じて3次元形状設計を理解させることを目的としている。

そこで、初心者これらの関係を短期間に理解させるために、CAD学習支援システムを構築し、利用することにした。本章ではスタンドアローン型の手軽な学習システムを提案する。3.2節でシステムの目標を設定し、3.3節でシステムの学習支援範囲について言及し、3.4節でシステム構成と機能、3.5節でシステムの実現方法、3.6節でシステムの実装、そして3.7節でシステムの操作例について述べる。

3.2 システムの目標

3.2 システムの目標

3次元CAD教育の中で、自由曲線や曲面の創成原理をどのように教授するか。多くの場合、解析的な講義と、CADシステムによる実習が一般的な教授方法であろう。しかし、解析的な講義だけでは経験的な側面を有する自由形状物体の創成問題に対しては不十分である。もちろん、解析的な講義は必要である。

また、3次元CADシステムによる形状設計実習で体験実習を行うことも必要である。しかし、市販3次元CADシステムは、実際の設計の道具としては高機能化したが、教育で必要な制御点、接線ベクトルおよび重みの表示機能がないなどの問題点がある。

そこで、3次元CAD教育の中でも、特に学習者にとって理解が困難であると考えられる自由曲線・曲面に的を絞り、学習支援を行うシステムを構築することにした。システム開発指針を以下に述べる。

- (1) 学習者とコンピュータの対話環境により、実習環境を中心とした学習システムとする。
- (2) 学習者とコンピュータの対話環境による学習の中で、発見的学習法により自由曲線や曲面の創成原理が理解できるシステムとする。

以上の開発指針に基づき、2.3節の表2.1に示した①～⑧の教育内容の中で、教材化が可能なものから開発を進めた。これまでに①～③の内容についてCAIシステム化を完了し、すでに報告した[17]。

本章で提案する学習システムは、⑤の自由曲線・曲面の学習を支援するものである。なお、島田ら[1]は①～④、千代倉[3]は①～⑥の内容について教育を行うものである。

3.3 システムの学習支援範囲

自由曲線・曲面の創成問題はきわめて広範な教育内容を含んでいるが、学部学生の学習支援システムであることを考え、本システムでは表3.1に示す11項目を取り上げた。多くの教育項目の中から11項目に絞った理由を述べる。

表3.1 学習システムの学習項目一覧

項目番号	学 習 内 容
①	Ferguson 曲線の創成
②	Bézier 曲線の創成
③	Bézier 曲線の分割
④	B-Spline 曲線の創成
⑤	Bézier 曲線と B-Spline 曲線の関係
⑥	Bézier 曲面の創成
⑦	B-Spline 曲面の創成
⑧	有理 Bézier 曲線の創成
⑨	有理 B-Spline 曲線の創成
⑩	有理 Bézier 曲面と有理 B-Spline 曲面の創成
⑪	自由曲線と曲面の総合実習

項目番号①のFerguson曲線は現在のCADシステムには採用されていないが、以後に発表された曲線・曲面の基本となっているので、教育上必要であると考えた。

項目番号②から⑦の5項目で、Bézier曲線・曲面、B-Spline曲線・曲面

の創成原理を取り扱う。

最近話題となっている有理曲線と有理曲面の創成問題も重要であり、⑧、⑨、⑩を取り上げた。

3次元CADシステムでは、曲面と曲面の干渉線を求めることが多い。そのためには、曲面を細かい平面とみなせるまで分割を繰り返し、平面と平面の干渉線を求める問題に帰着させることで、計算時間の短縮を図る方法が採られている。Bézier曲面分割問題は、Bézier曲線を分割する問題に帰着するので、ここでは③のBézier曲線の分割問題を取り上げた。

B-Spline曲線・曲面はBézier曲線・曲面と密接な関係にあることを利用して、Bézier曲線・曲面に変換できる。したがって、B-Spline曲線・曲面の干渉問題はBézier曲線・曲面の干渉問題として扱えるので、Bézier曲線とB-Spline曲線の関係を理解させる必要から、⑤の項目を取り上げた。

また、⑪は①～⑩までの学習修了者に対する総合実習項目で、1つの曲線セグメントや曲面パッチの創成だけではなく、自由な曲面形状の創成実習を行うために用意した。

本システムは以下の実現を目標として開発した。

- (1) 講義の補助教材として利用できる。
- (2) 予習、復習教材として利用できる。
- (3) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

(1)の実現は、教師が描きたい曲線や曲面をマウス操作で自由に描き、表示結果をOHPなどのようなプレゼンテーション機器で拡大表示することで、教育効果を高めることが期待できる。(1)の実現を図るためPC上にインプリメントした。PCならばディスプレイの出力をOHP用のディスプレイパネルや液晶プロジェクタに送ることができる。

(2)の実現のためにはシステムを小さくする必要がある。PC上でしかもフ

ロッピーディスク (FD) 1 枚に収まるシステムを実現することで、希望する学生にはソフトウェアを貸し出し、大学の PC 教室、あるいは自宅の PC で予習・復習に利用でき、大学の PC 教室で講義と併用することで、学習効果の向上がはかれる。

そして、(3)の実現のためにはシステム内に実習課程を用意する必要がある。実習を通して講義とは違った発見が期待できる。

3. 4 システムの構成と機能

システムは図 3. 1 に示すように、(1)ユーザインターフェース部、(2)データベース制御部から構成した。以下、各部の特徴を述べる。

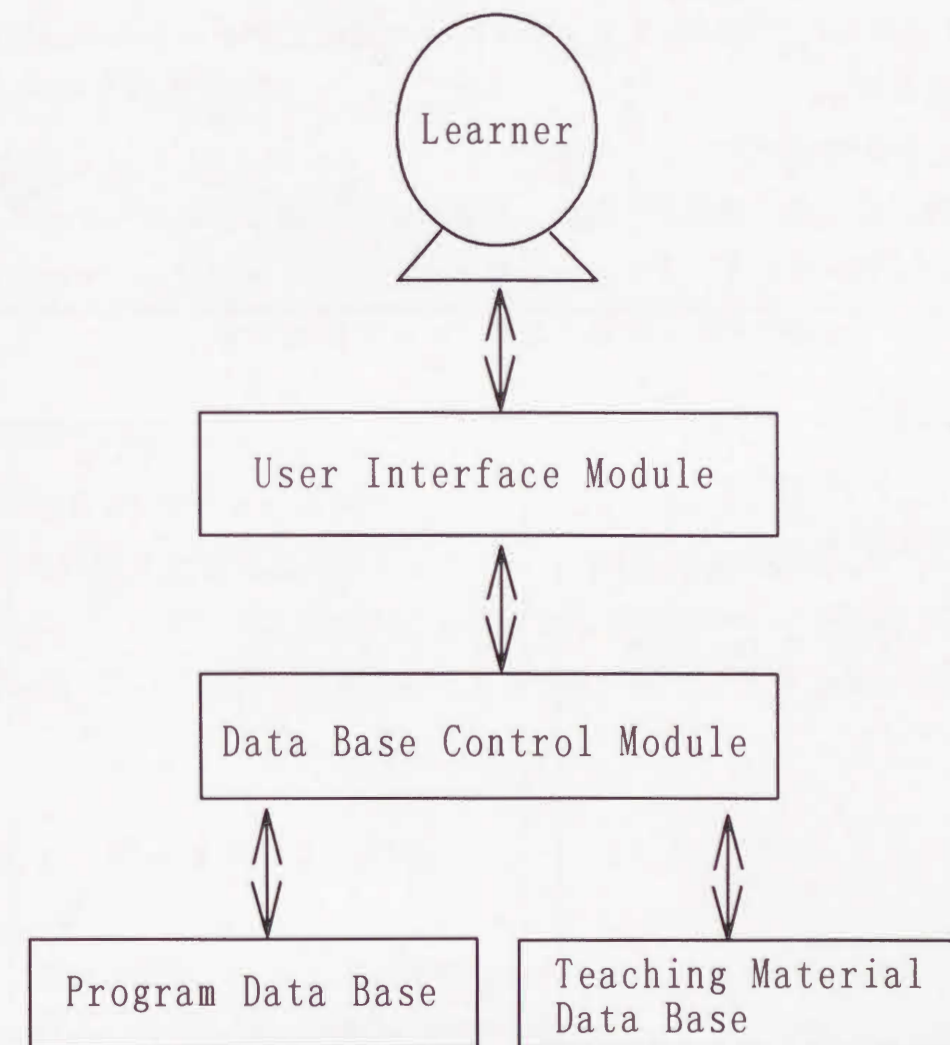


図 3. 1 システム概念図

3.4.1 ユーザインタフェース部

ユーザインタフェース部は、教材メニュー選択インタフェース部、実習課程におけるデータ入力インタフェース部、および表示インタフェース部から構成する。

(1) 教材メニュー選択インタフェース部

表3.1に示した学習コースをマウス操作で選択し、データベース制御部にその制御を移す。

(2) データ入力インタフェース部

実習課程において、制御点の座標、接線ベクトル値などのデータを入力する部分で、マウス入力インタフェース部とキー入力インタフェース部からなる。図3.2, 3.3にそれぞれのインタフェース部を示す。

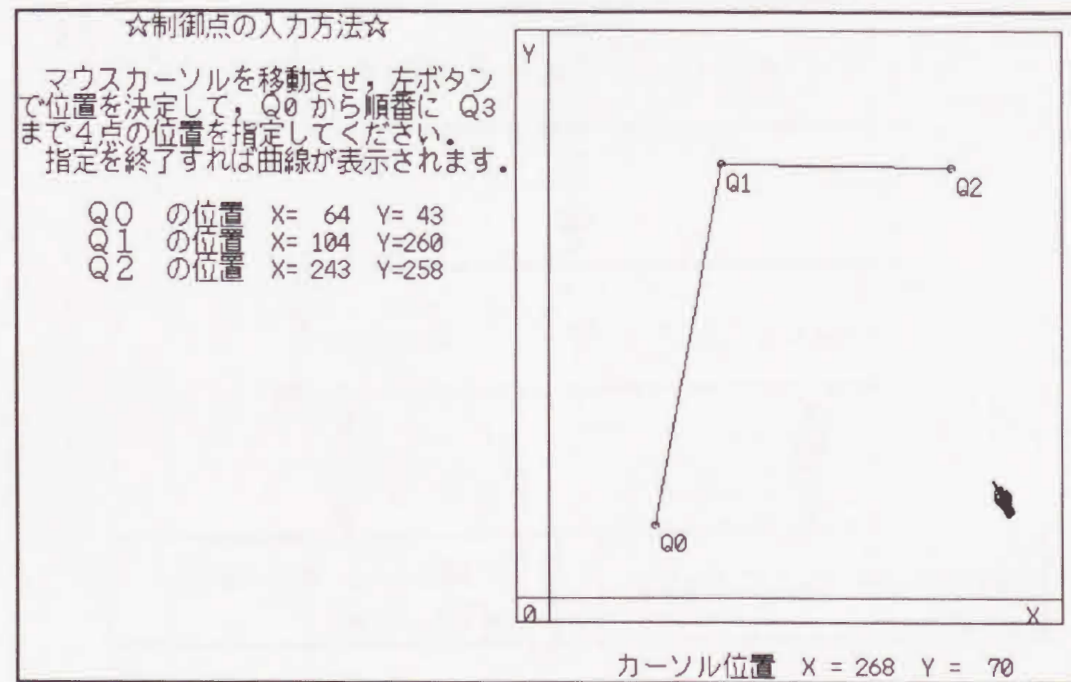


図3.2 マウス入力インタフェース

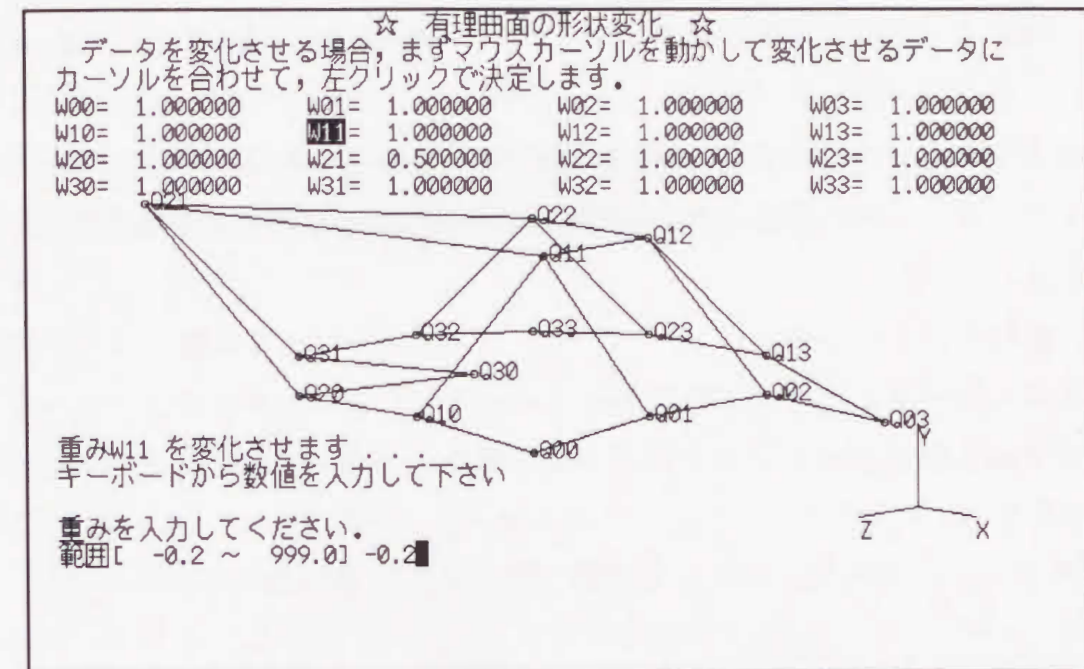


図3.3 キー入力インタフェース

(3) 表示インタフェース部

学習者に提示する画面を構成するインタフェース部分である。表示すべきデータは、データベース制御部から渡される学習教材データである。また、実習課程において学習者が作成した自由曲線・曲面データを受け取り、表示する。

3.4.2 データベース制御部

本システムでは、システムの柔軟性の向上を計るため、コースウェアを制御するプログラムモジュールと、学習教材モジュールを分離したシステム構成とした。

したがって、データベース制御部は、コースウェアプログラムデータベ

スト、教材データベースを制御する。

(1) プログラムデータベース

プログラムデータベースは、表3.1に示した各学習項目に対応したプログラムモジュールから構成され、教材メニュー選択インタフェースから呼び出される。

(2) 教材データベース

学習者に提示するテキスト教材データベースは、各プログラムモジュールから呼び出され、表示インタフェースに渡される。図3.4にテキスト教材の一部を示す。

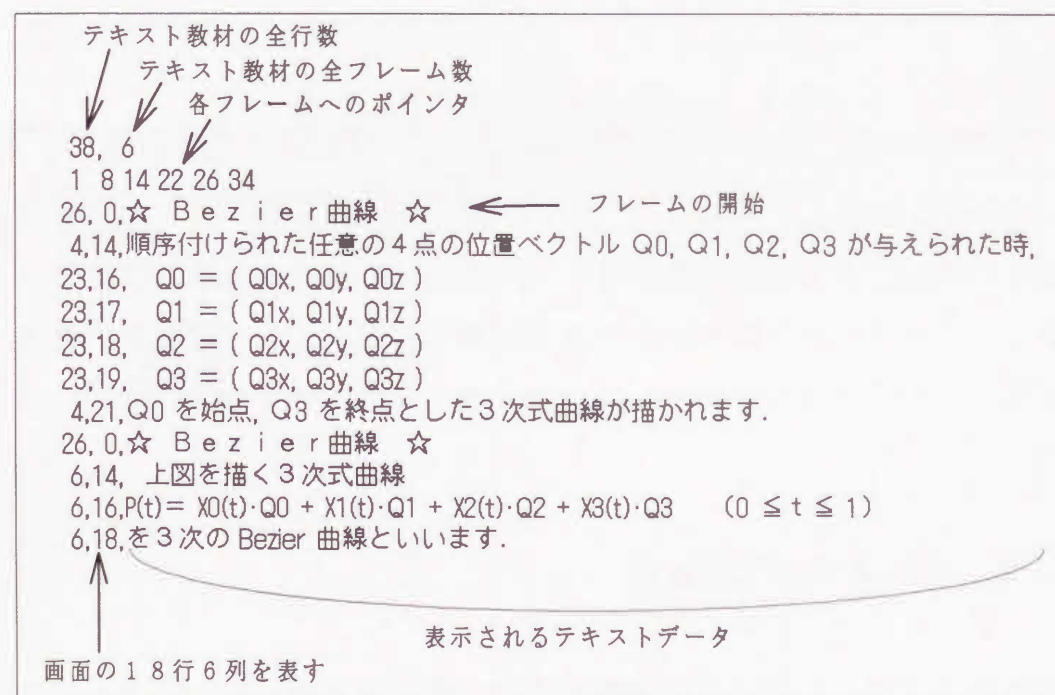


図3.4 テキスト教材の一部

3.5 システムの実現

本節では、システムを実現するための教材のデータ構造、プログラム構造、および実習環境の実現を計る実習機構について述べる。

3.5.1 基本的データ構造

本システムの学習様式は、理論学習を支援するフレーム型CAIと、実習を行うシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムとした。

フレーム型CAIを実現するために、教材ファイルの基本的なデータ構造はフレームとし、各フレームをポインタで結合する構造とした(図3.5)。

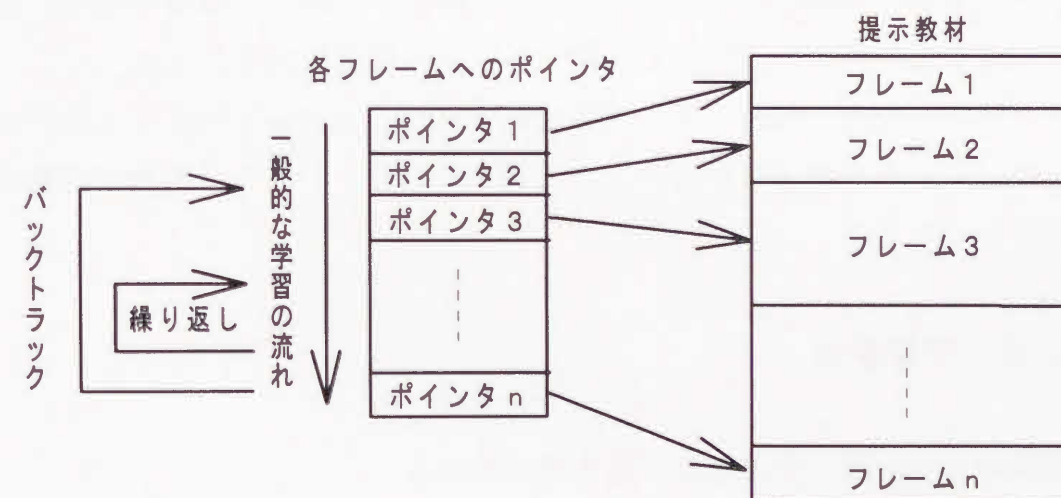


図3.5 教材のデータ構造

フレームの大きさは一定ではないが、ポインタは固定長であるので、以下

の利点がある。

- (1) 学習はポインタの制御によって進む。ポインタを順にたどれば、順次学習が可能である。順次学習が基本であるが、学習者の指示により、同じフレームを繰り返し学習したり、ポインタを逆にたどれば既習フレームにバックトラックできる。
- (2) ポインタは学習進行状況を示しており、記録しておくことにより、学習の中断、再開が容易となる。
- (3) 通過したポインタやポインタの開始時刻、終了時刻の記録は、学習履歴になり、個人の学習進捗状況の解析に利用できる。

3.5.2 オーバーレイ構造

本システムは小容量のPCでもシステムの実現が可能で、教材の追加、削除などの保守性の向上を期待して、オーバーレイ構造を採用した。

メインモジュールで教材メニューを選択すれば、メニューに対応したプログラムモジュールがサブプロセスとして起動し、オーバーレイ構造で稼働する仕組みとした。

3.5.3 実習機構

実習課程では曲線と曲面では実現方法が異なる。

(1) 自由曲線

図3.2に示したように、PCの画面を左右に分割して利用する。左のテキスト領域に表示された指示に従い、右の描画領域でマウスを移動し、左ボタン操作でその時点でのマウスカーソル位置を制御点や接線ベクトルの値として入力できる。必要な入力を完了すれば曲線を描く。

したがって、学習者は各種の曲線を描くことができ、講義では得られない発見的学習が可能となった。

(2) 自由曲面

自由曲面ではマウス操作による座標値入力が不可能に近いので、キーボード入力主体で行う。実際のCADシステムでも3次元データ入力のほとんどはキーボード入力である。

図3.3に示したように、変更したい制御点をマウス操作で指定し、その制御点の座標値、重みをキーボードから入力する。必要な入力を完了すれば曲面を描く。

3.6 システムの実装

MS-DOS システムの動作する NEC 製 PC-9801 と富士通製 FMR-50 上に開発した。開発言語は MS-C Ver. 5.1 であり、グラフィックスライブラリは移植性を考え、両機種互換ライブラリ SYLPH Ver. 1 を使用した。

また、マウスライブラリは PC-9801 が SYLPH, FMR-50 が MC/C ライブラリを使用した。機種ごとに異なるのはこのマウスライブラリだけである。

表 3.2 に教材モジュール、表 3.3 に実習用プログラムモジュールの概要を示す。

表 3.2 教材モジュール一覧

モジュール名	サイズ(バイト)	備 考
CAGDMENU.DAT	865	メニュー用データ
FERCURVE.DAT	2,780	Ferguson 曲線用教材
BEZCURVE.DAT	1,717	Bézier 曲線用教材
BEZSPLIT.DAT	1,661	Bézier 曲線用教材
BSPCURVE.DAT	2,913	B-Spline 曲線用教材
BSPBEZ.DAT	2,076	B-Spline 曲線と Bézier 曲線の関係用教材
BEZSUR.DAT	2,853	Bézier 曲面用教材
BSPSUR.DAT	2,058	B-Spline 曲面用教材
SEMI-1.DAT	237	曲面表示用データ
RBEZCUR.DAT	2,969	有理 Bézier 曲線用教材
RBSPCUR.DAT	6,470	有理 B-Spline 曲線用教材
RSURTEXT.DAT	4,740	有理曲面用教材
RSURDEF.DAT	351	有理曲面定義データ

表 3.3 実習用プログラムモジュール一覧

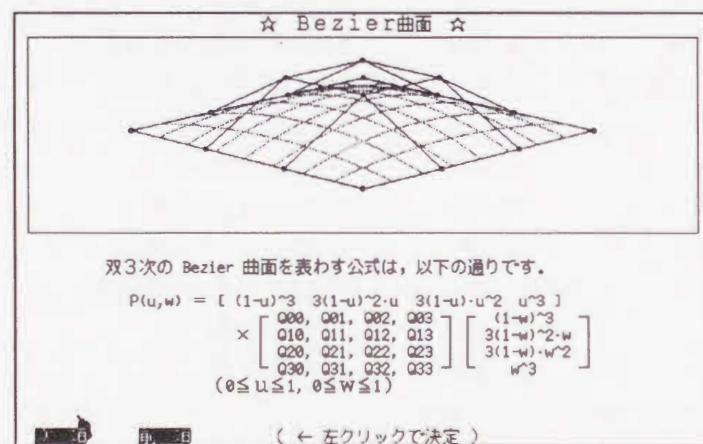
モジュール名	サイズ(バイト)	備 考
CAGDMENU.EXE	10,754	メニュー用
GCLS.EXE	17,065	画面消去用
CURON.EXE	5,914	マウスカーソル制御用
FERCURVE.EXE	28,445	Ferguson 曲線用
BEZCURVE.EXE	28,397	Bézier 曲線用
BEZSPLIT.EXE	29,580	Bézier 曲線の分割用
BSPCURVE.EXE	29,420	B-Spline 曲線用
BSPBEZ.EXE	29,704	B-Spline 曲線と Bézier 曲線の関係用
BEZSUR.EXE	30,993	Bézier 曲面用
BSPSUR.EXE	31,026	B-Spline 曲面用
RBEZCUR.EXE	29,870	有理 Bézier 曲線用
RBSPCUR.EXE	29,634	有理 B-Spline 曲線用
RSUR.EXE	33,286	有理曲面用
TOTAL.EXE	32,866	総合実習用

以上の表からもわかるように、MS-DOS システムを含めて、すべてのモジュールは FD 1 枚に収まる、非常にコンパクトで手軽なシステムとなった。

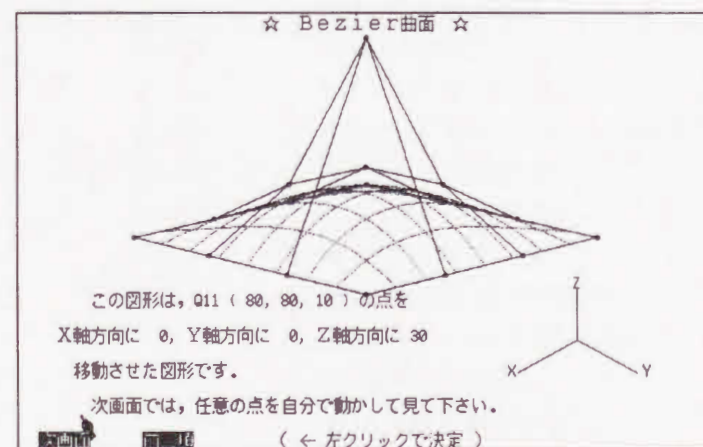
3.7 操作例

本節では、操作例を示す。

図3.6 (a)はBézier曲面理論式の解説画面、(b)は制御点を移動させた場合のBézier曲面の変化の様子を示している。



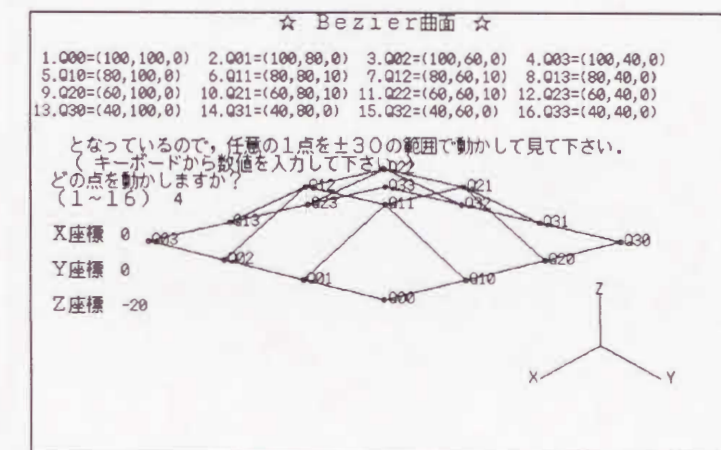
(a)



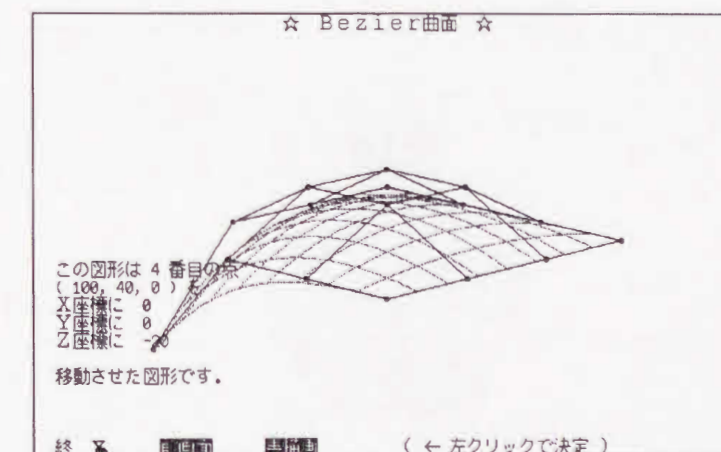
(b)

図3.6 Bézier曲面の解説画面

図3.7は実習画面で、学習者の指示で任意の制御点を移動し、形状の変化を確認している様子を示す。学習者はCAI教材による理論学習を終了し、理解できれば実習課程に進み、学習者自身で自由曲面を創成できる。途中で分からなくなれば、既習フレームにバックトラックできる。



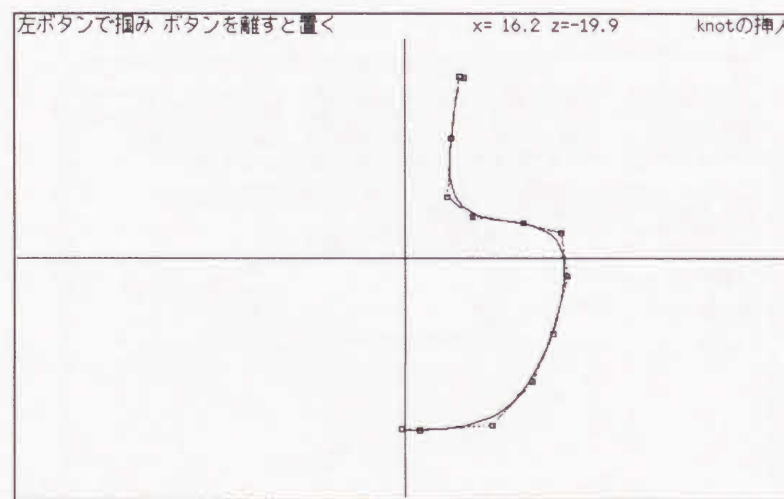
(a)



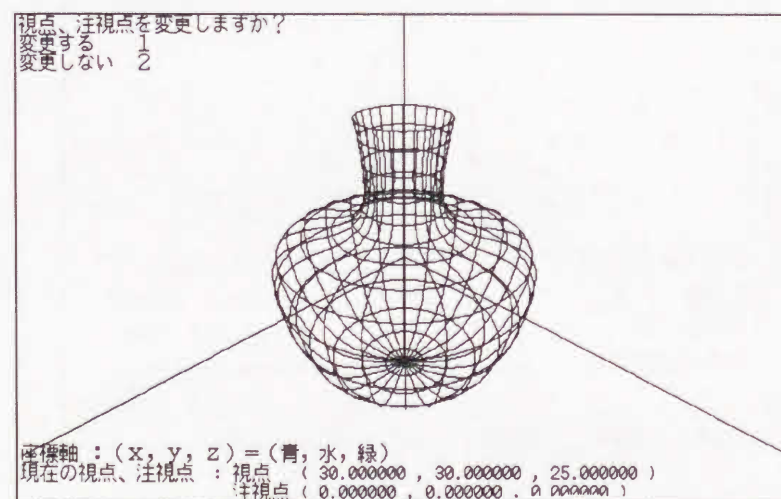
(b)

図3.7 Bézier曲面の実習画面

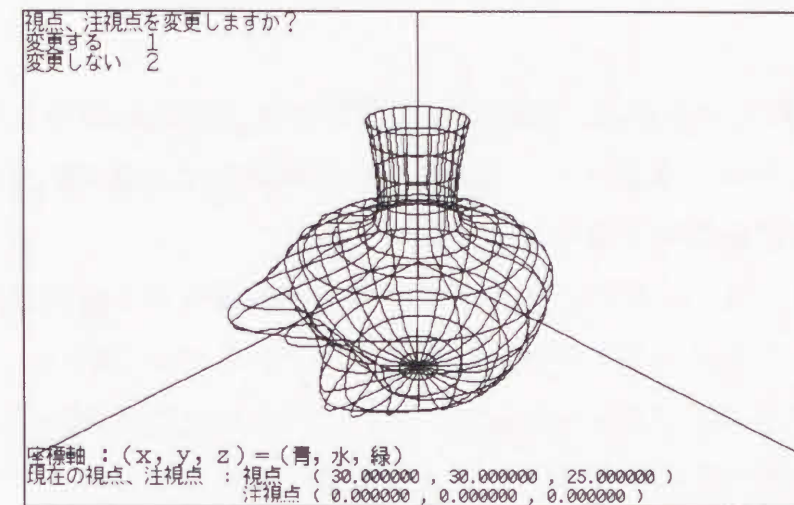
図3.8は総合実習画面である。(a)はB-Spline 曲線によるボトルのシルエット, (b)は(a)で作成した曲線を360度回転させて創成した回転曲面, そして(c)はノットと呼ぶ制御点を挿入後, 一部の制御点を移動して局所変形を行った実習結果である。



(a) B-Spline 曲線によるシルエット創成



(b) 回転による回転曲面創成



(c) 制御点の挿入と移動による局所変形

図3.8 総合実習画面

3.8 結 言

3次元CAD教育の目標は、自由曲面を含む3次元形状物体を設計する能力の育成にあるという立場から、3次元CAD教育の中でも特に自由曲線、自由曲面の創成原理を理解させることが重要である。

本章では、3次元CAD教育の中でも特に理解が困難である自由曲線や曲面の学習を支援するスタンドアローン型学習システムについて述べた。

開発したシステムは、FD1枚に納まるコンパクトな手軽なシステムであるが、フレーム型CAIにシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムである。マウス操作主体のユーザインタフェースを介して、全実習課程を通じて学習者は自由曲線や曲面の創成学習が可能である。

また、本システムはフレームをベースとしており、すべての画面でバックトラック機能を実現し、操作性の向上を実現した。そのため、操作の煩わしさから解放され、楽しみながら学習を進めることが可能となった。特に、学習者自身の操作で自由曲線や曲面の創成学習ができることで、講義だけの授業に比較して発見的学習が可能となり、学生にとって新鮮味が生まれ、興味付けにも一役買うことが期待される。

第4章

CAD教育とインターネット

4.1 緒 言

第3章で提案した学習システムは、PCによるスタンドアローン環境であるため、

- (1) 教材管理の困難さ
- (2) 学習履歴、学習結果等データ収集の困難さ
- (3) マルチメディア化の困難さ
- (4) MS-DOSマシンメモリ空間制限に伴うCAIシステムの機能の限界

等の問題点があった。

一方、昨今のPC環境の改善、すなわち、

- (1) CUI環境からGUI環境変化に伴う、ユーザインタフェースの改善
- (2) メモリ空間の大幅な拡大
- (3) インターネットを代表するネットワーク環境の整備

等により、各種の制限が緩和されつつある。特に、最近のインターネットの普及には目を見張るものがあり、インターネットを教育に利用する試みが各地で開始された[21]～[29]。これらは、インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用して、先に述べたPCのスタンドアローン環境によるCAIの問題点の解決を計るものである。

4.2節では、第3章で提案したスタンドアローン型学習システムの問題点を、4.3節では、その問題点を解決する方法としてインターネットの利用による学習システムの可能性について述べる。

4.2 CAD学習システムの問題点

CAD学習支援システムとして必要な機能は、

- (1) 理論学習と実習が同一画面上で行えること。
- (2) 市販CADシステムでは不可能な、制御点や接線ベクトルなどが表示でき、またこれらの値を自由に設定・変更し、創成実習が可能なこと。
- (3) 創成した自由曲線や曲面は、隠線処理、隠面処理し、シェーディングした状態で表示でき、簡単な操作で任意方向からの確認が可能なこと。
- (4) 教材管理が容易なこと。
- (5) 学習履歴データや創成作品の収集が容易であること。

等である。これまでに構築したシステムはPCのスタンドアローン環境であり、以下の理由で、上述した必要な機能の一部しか実現できなかった。

- (1) MS-DOSはシングルウィンドウ環境であり、理論学習画面と実習画面の同時表示が困難である。
- (2) MS-DOSベースの開発環境では、イベント駆動主体の実習環境構築が困難である。もし、可能であるとしてもMS-DOSのメモリ上限の制約により、機能的に制約が大きい。
- (3) 隠線処理、隠面処理、シェーディング処理などの処理には、PCの能力が不足していた。
- (4) スタンドアローン環境下では、教材は各PC上にすべてインストールしておくか、FDによる運用となり、教材更新等の教材管理が困難である。
- (5) 創成作品収集はFDメディアで行うことになる。
- (6) 学習用のマシンはシステム開発マシンと同じになる。

次節では、これらの問題点を解決するために、インターネット利用の可能性について述べる。

4.3 インターネットの利用

昨今のPC環境の改善、すなわち、

- (1) イベント駆動型OS(Windows)の普及により、CUI環境からGUI環境変化に伴うユーザインタフェースの改善とイベントプログラミング環境の整備
- (2) 高速なCPU搭載とメモリ空間制限の大幅な改善
- (3) インターネットを頂点とする双方向通信可能なネットワーク環境の充実

等により、4.2節で述べた各種の制限がなくなりつつある。

特に、最近のインターネットの普及には目を見張るものがある。インターネットが持つ、

- (1) グローバル性
- (2) マルチメディア性
- (3) 双方向性
- (4) 同時性

の特徴と教育環境について述べる。

(1) グローバル性

これまでの学習システムの多くがスタンドアローン環境であり、教材配布および教材更新が困難であった。ネットワークを利用するシステムにおいても、教室内LANの利用が限界であった。また、学習する場所と時間が限定される等の制限もあった。

しかし、インターネットの最大の特徴はグローバル性であり、WWWを代表とするデータベースサーバ上のデータは、インターネットに接続されているどのようなサイトからでもアクセスが可能である。インターネットのグローバル性を利用することにより、以下の利点が生まれる。

- ① 教材配布および教材更新が容易になる.
- ② 学習する場所と時間に制約がなくなる.
- ③ 学内だけの利用に留まらず、広く社会人教育にも利用できる.

(2) マルチメディア性

インターネット普及の大きな要因はマルチメディア性にある. 従来のデータベースがテキストベース主体であったのに対し, WWW データベースではテキスト情報はもちろん, 静止画, 動画, 音声情報までがその対象となった. さらに, VRML (Virtual Reality Modeling Language) の登場により, 3次元物体まで取り扱い可能になった.

CAD教育のような3次元空間上の曲線や曲面を扱う場合, 学習者に提示する3次元物体はワイヤフレームモデルの場合は隠線処理, サーフェースモデルあるいはソリッドモデルの場合には隠面処理あるいはシェーディング処理して表示したい. しかし, これらの処理にはPCの能力不足のため実現できなかった. また, 可能だとしても, その処理プログラム開発に膨大な時間がかかり, 実用的ではない.

CAD教育にVRMLを利用すれば, 隠面処理, シェーディング処理の問題は一挙に解決する.

(3) 双方向性

学習システムでは, 学習者・教師間の通信手段が重要である. 学習者からは, 各種質問, レポート提出, 作品提出を行い, 一方教師からは質問の応答, レポートや作品の講評を行う. 電子掲示板機能, 電子メール機能, ftp機能等を活用すれば学習場所に限定されないで, 通信手段が確保できる.

(4) 同時性

教材は1カ所のサーバ上に置くことができるので, 教材一斉更新の手続きは簡単で, サーバ上の教材更新のみである. インターネットの同時性はCAI教材の更新の煩わしさから, 教師を解放する.

4.4 結 言

第3章で提案したPCによるスタンドアローン型学習システムでは, MS-DOSベースのため,

- (1) シングルウィンドウ環境による制約
- (2) イベント駆動主体の実習環境構築が困難
- (3) PCの能力不足
- (4) 教材更新等, 教材管理の困難さ
- (5) 創成作品収集等の困難さ

等の制限があった.

一方, 昨今のPC環境の改善, すなわち,

- (1) イベント駆動型OS (Windows) の普及
- (2) 高速なCPU搭載とメモリ空間制限の大幅な改善
- (3) 双方向通信可能なネットワーク環境の充実

等により, 上記の制限がなくなりつつある. 特に, インターネットは,

- (1) グローバル性
- (2) マルチメディア性
- (3) 双方向性
- (4) 同時性

等について優れた特徴を有しており, これらの特徴をCAD教育に利用する場合の利点について述べた. 特にJavaやVRMLといった機種依存のない開発環境充実は著しい. 次章では, これらの利点を最大限生かした学習支援システムの提案を行う.

第5章

ネットワーク型CAD学習システム

5.1 緒言

インターネット上で動作する自由曲線や曲面の創成教育を支援する学習システムを提案する。第3章で提案したシステムは、PCによる手軽なスタンドアローン型学習システムであった。しかし、このシステムはFDベースのスタンドアローン環境であり、

- (1) 教材管理の困難さ
- (2) 学習履歴収集の困難さ
- (3) マルチメディア化の困難さ

等の問題点があり、CAD学習システムに必要な機能を十分盛り込めなかった。

一方、近年のインターネットの普及には目を見張るものがあり、マルチメディア化が可能なインターネットを教育に利用する試みも各地で開始された。

これらは、インターネットが持つ、

- (1) グローバル性
- (2) マルチメディア性
- (3) 双方向性
- (4) 同時性

等の優れた特徴を教育に利用しようとする試みである。インターネットを利用することで、これまでの学習システムの問題点は解決する。

本章ではネットワーク型学習システムを提案する。典型的なクライアント/サーバ(C/S)システムで、テキスト教材や実習用プログラム教材をWWWサー

5.1 緒言

バ上に置き、インターネットを介して接続されている学習用端末からWWWサーバにアクセスして理論学習を進めることができる。

テキスト教材はHTML(Hyper Text Markup Language)で作成し、実習プログラムはサーバからクライアントにダウンロードして実行する。実習プログラムは実行速度の点でVisual BASIC Ver. 4(VB4)で、汎用性からJavaで開発した。また、実習で創成した自由曲面はVRML形式で表示できるので、実際のCADシステムに似た環境で創成学習を進めることができる。

5.2節でシステムの目標、5.3節でシステムの学習支援範囲、5.4節でシステムの構成と機能、5.5節でシステムの実現方法、5.6節でシステムの実装、そして5.7節で実習例について述べる。

5.2 システムの目標

システム開発を行うにあたり、システム開発指針を以下のように決定した。

- (1) インターネット上で、学習者とコンピュータの対話環境により、理論学習の支援はもとより、創成実習も可能なシステムとする。
- (2) 創成実習の中で、発見的学習法により自由曲線や曲面の創成原理が理解できるシステムとする。
- (3) 学習用のクライアントマシンはWindows95を想定するが、できるだけ機種依存しない構成とする。
- (4) 理論学習用テキスト教材、実習用プログラム教材はサーバ上に置き、学習者の要求に応じて、ネットワークを介して配信する。
- (5) 学習履歴、創成作品はネットワークを介して収集する。
- (6) 学習者の作品はシェーディングされた状態で表示し、学習者自身で評価できる環境にする。

なお、先のスタンドアローン型学習システムでは、自由曲面はワイヤフレームで表示していたが、本システムは最近インターネットで話題となっている、仮想現実モデリング言語であるVRMLを採用し、学習者にとってより現実感のある自由曲面が表現できる工夫をする。

5.3 システムの学習支援範囲

学部学生用の学習支援システムであることを考え、本ネットワーク型学習システムでは、表5.1に示す基本的な12項目を取り上げた。

表5.1 学習システムの学習項目一覧

項目番号	学 習 内 容
①	Ferguson 曲線の創成
②	Bézier 曲線の創成
③	Bézier 曲線の分割
④	B-Spline 曲線の創成
⑤	B-Spline 曲線の逆変換
⑥	Bézier 曲線と B-Spline 曲線の関係
⑦	Bézier 曲面の創成
⑧	B-Spline 曲面の創成
⑨	有理 Bézier 曲線の創成
⑩	有理 B-Spline 曲線の創成
⑪	有理 Bézier 曲面の創成
⑫	有理 B-Spline 曲面の創成

本システムは以下の実現を目標として開発した。

- (1) 学習する時と場所を選ばない。
- (2) 講義の補助教材として利用できる。
- (3) 予習、復習教材として利用できる。
- (4) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進

めることができる。

(1)の実現のために、インターネット上に展開した。インターネット上なら、IP接続された学内外のノードから自由にアクセスし、利用できる。

(2)の実現は、教師がインターネットに接続されたPCを教室内に持ち込み、描きたい曲線や曲面をマウス操作で自由に描き、大型TVなどのようなプレゼンテーション機器で拡大表示することで、教育効果を高めることが期待できる。

(3)の実現のためには、自宅でも自由に利用できる環境にする必要がある。インターネットを利用することで、大学ではLAN直結IP接続、自宅からはダイヤルアップIP接続により、予習・復習に利用でき、大学のPC教室で講義と併用することで、学習効果の向上がはかれる。

そして、(4)の実現のためにはシステム内に実習課程を用意する必要がある。実習を通して講義とは違った発見が期待できる。

5.4 システムの構成と機能

システムは図5.1に示すように、(1)教材および学習結果の管理を担当するサーバシステム、(2)ユーザインタフェース部を担当するクライアントシステムからなる、C/Sシステムである。各部の特徴を述べる。

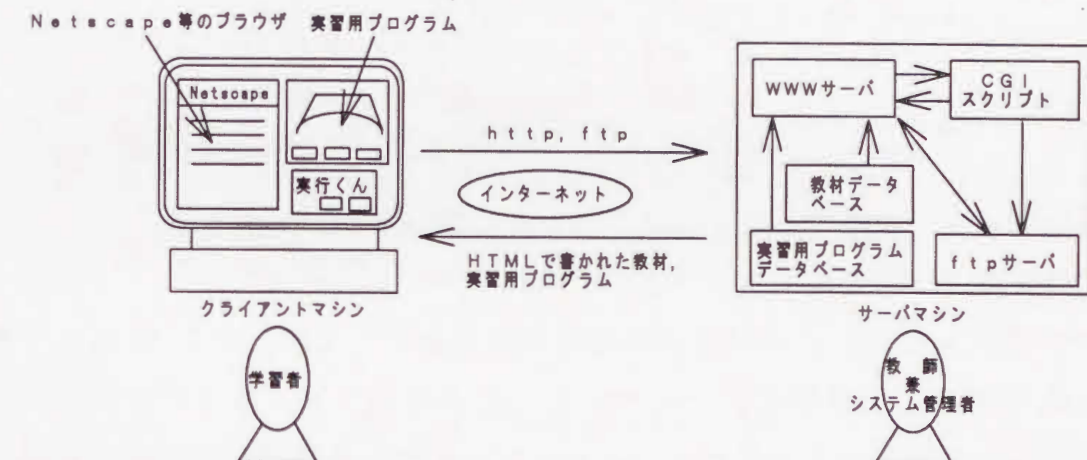


図5.1 システム構成図

5.4.1 サーバシステム

サーバシステムは、図5.2に示すように、

- (1) 教材および実習用プログラムデータベースモジュール
- (2) WWWサーバモジュール
- (3) CGIスクリプトモジュール
- (4) ftpサーバモジュール

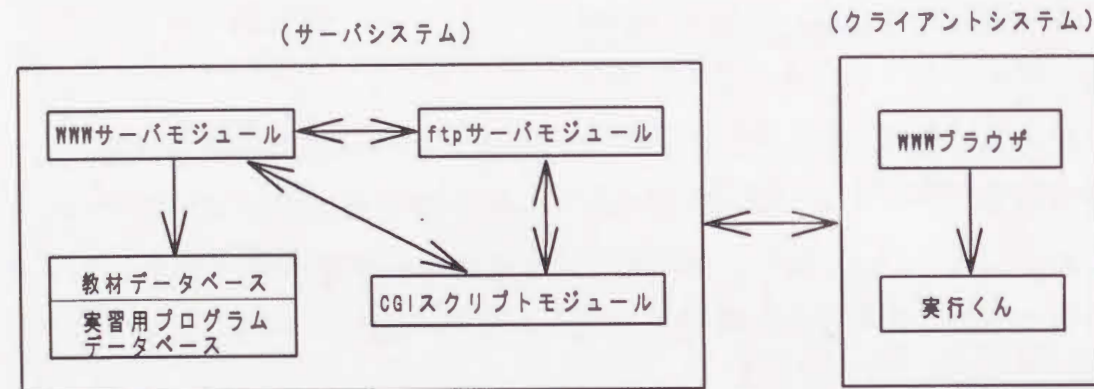


図5.2 システムのモジュール構成

の各モジュールで構成した。各モジュールの機能について述べる。

(1) 教材および実習用プログラムデータベースモジュール

本システムでは、システムの柔軟性の向上を計るため、表5.1に示した学習項目ごとに、①教材データベース、②実習用プログラムデータベースに分離し、これらのデータベースはWWWデータベース管理システムで管理する。

①教材データベース

学習者に提示する教材データは、WWWサーバ上で管理し、クライアント側のブラウザによってインターネットを介して呼び出し、提示する。

教材はテキスト部、グラフ部、数式部の3つから構成した。

テキスト部は大学の講義ノートをハイパーテキスト言語HTMLで記述した。

グラフ部と数式部は、テキスト部を補完する目的で図形や数式を表現する。図形と数式はイメージデータである。数式は数式作成ツールMathTypeを利用して作成した。

図5.3に教材データの一部を示す。

```

<TITLE>Bezier 曲線</TITLE>
<BODY>
<H1>Bezier 曲線の創成問題</H1><P>
<HR>
<IMG SRC="bezcurve.gif"><P>
<H3>
  順序付けられた任意の4点の位置ベクトルQ0, Q1, Q2, Q3<P>
  が与えられた時、<P>
  <IMG SRC="1-6.gif"><P>
  Q0を始点, Q3を終点とした3次式曲線を描くことが可能です。<P>
  上図を描く3次曲線<P>
  <IMG SRC="1-7.gif"><P>
  を3次のBezier曲線といいます。<P>
  ここで、関数X0(t), X1(t), X2(t), X3(t)をそれぞれ代入<P>
  すると次式になります。<P>
  <IMG SRC="1-8.gif"><P>
  また、この曲線を定義する位置ベクトルQ0, Q1, Q2, Q3を<P>
  曲線定義ベクトルと呼び、曲線定義ベクトルにより構成される多<P>
  角形を曲線定義ポリゴンと呼びます。この時、移動による形状不<P>
  変性及び凸閉包性から次の条件を満足していなければなりません。<P>
  <IMG SRC="1-9.gif"><P>
  この曲線は、3次元空間の曲線ですが、次画面で実際に曲線を<P>
  引く時には、2次元で表します。Z=0だと思ってください。<P>
  
```

図5.3 教材データの一部

②実習用プログラムデータベース

表5.1に示した各学習項目に対応した実習プログラムから構成し、WWWサーバ上で管理する。ネットワークとサーバマシンの負荷軽減のために、実習プログラムはサーバからクライアントに転送し、クライアント上で実行する方式を採用した。

(2) WWWサーバモジュール

教材や実習用プログラムデータベースの管理を行い、学習者の要求に応じてインターネット上に教材や実習用プログラムを配信する。

(3) CGI スクリプトモジュール

学習者と教師間またはシステム間の双方向通信手段を提供する。この機能の一つとして目安箱機構を実現した。目安箱機構では、

- ① 学習者からの質問
- ② システムの評価
- ③ システムに対するコメント

を受け付ける。Perl スクリプトで実現した。図5.4に目安箱のページを示す。

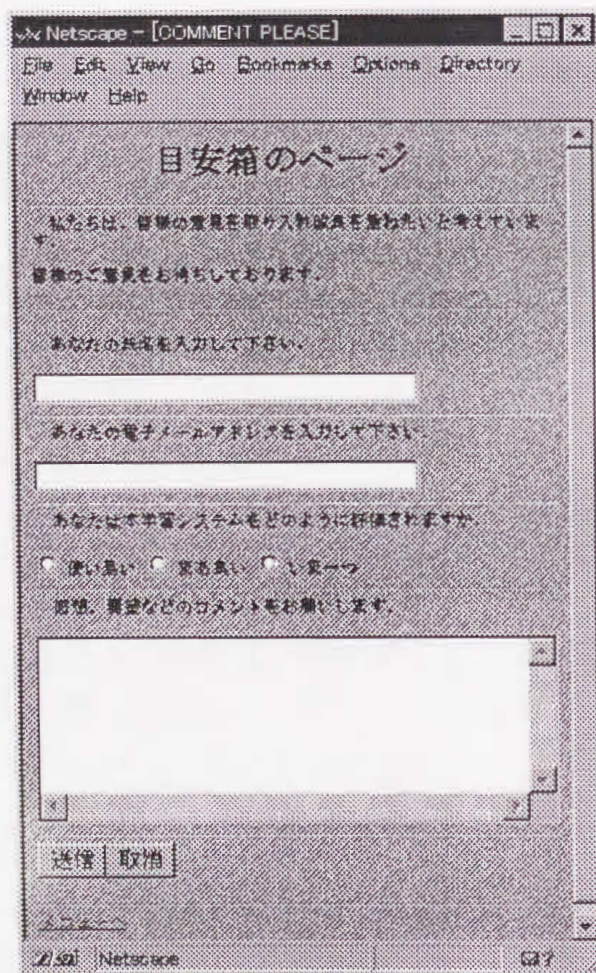


図5.4 目安箱のページ

(4) ftp サーバモジュール

学習者の作品収集と管理を行う。セキュリティ対策上、登録された学習者だけが利用できる。

5.4.2 クライアントシステム

クライアントマシンはWindows95を想定した。

クライアントシステムに必要なプログラムモジュールは、図5.2に示したように、

- (1) WWW ブラウザモジュール
- (2) 「実行くん」モジュール

の2種類である。各モジュールの機能について述べる。

(1) WWW ブラウザモジュール

ユーザーインタフェースの大部分を担当し、教材の提示を行う。本システムは実習環境でJavaとVRMLを利用するので、これらに対応したNetscape等のブラウザを用意する。推奨はNetscape 3.0とInternet Explorer 3.0である。

(2) 「実行くん」モジュール

実習用プログラムは、WWWサーバマシンからクライアントマシンにダウンロードし、クライアント上で実行する。ダウンロードしたファイルの拡張子が.exeの場合に、そのプログラムファイルを、

- ① 直ちに実行する。
- ② ローカルディスクに保存する。

かの制御を行う必要がある。

すなわち、学習システム上でダウンロードしたプログラムなら、直ちに実行しても問題はないが、自己解凍型フリーソフトの場合のダウンロードなら、

ディスクに保存する必要がある。

これらの制御を行うためのヘルパーアプリケーションプログラムとして「実行くん」を開発した。図5.5に「実行くん」の起動画面を示す。



図5.5 「実行くん」起動画面

「実行くん」はVB4で開発した。なお、「実行くん」が使用できるクライアントマシンは、Windows95に限定される。

5.5 システムの実現

本節では、システム構成および実習機構について述べる。

5.5.1 基本的システム構成

本システムの学習様式は、理論学習を支援するフレーム型CAIと、実習を行うシミュレーション型CAIを付加したハイブリッドシステムとした。

フレーム型CAIは、WWWシステムが本来ページという単位で実現されているマルチメディア型のデータベースシステムであることを利用することで実現した。

WWWサーバに教材を構築したことで、以下の利点がある。

- (1) フレームすなわちページを順にたどれば、順次学習が可能である。順次学習が基本であるがブラウザのスクロール機能、バックトラック機能により、同じフレームをくり返し学習したり、既習フレームにバックトラックできる。
- (2) WWWサーバのログファイルには、学習者のアクセス記録が残っており、その情報はそのまま学習履歴になり、個人の学習進捗状況の解析に利用できる。
- (3) 教材の一括管理が可能で、教材の更新が容易である。
- (4) 関連フレームにリンクを張ることで関連学習項目に簡単にジャンプできる。

シミュレーション型CAIでは、自由曲線や曲面の創成学習を支援するために、実習用プログラムを用意した。

実習用プログラムデータベースもWWWサーバ上に構築し、学習者からの要求で、WWWサーバからクライアントマシンに転送し、利用する形態とした。

実習用プログラムをWWWサーバ上に置いたことで、以下の利点がある。

- (1) 実習項目に応じた単独のプログラム構成が可能となり、CAIシステムの拡張性が容易になる。
- (2) プログラム教材の一斉更新が容易になる。

5.5.2 実習機構

実習では図5.6に示すように、すべての操作をマウス操作だけで可能にし、操作性を向上させた。また、より正確なデータ入力を可能にするために、キーボード入力も可能にした。

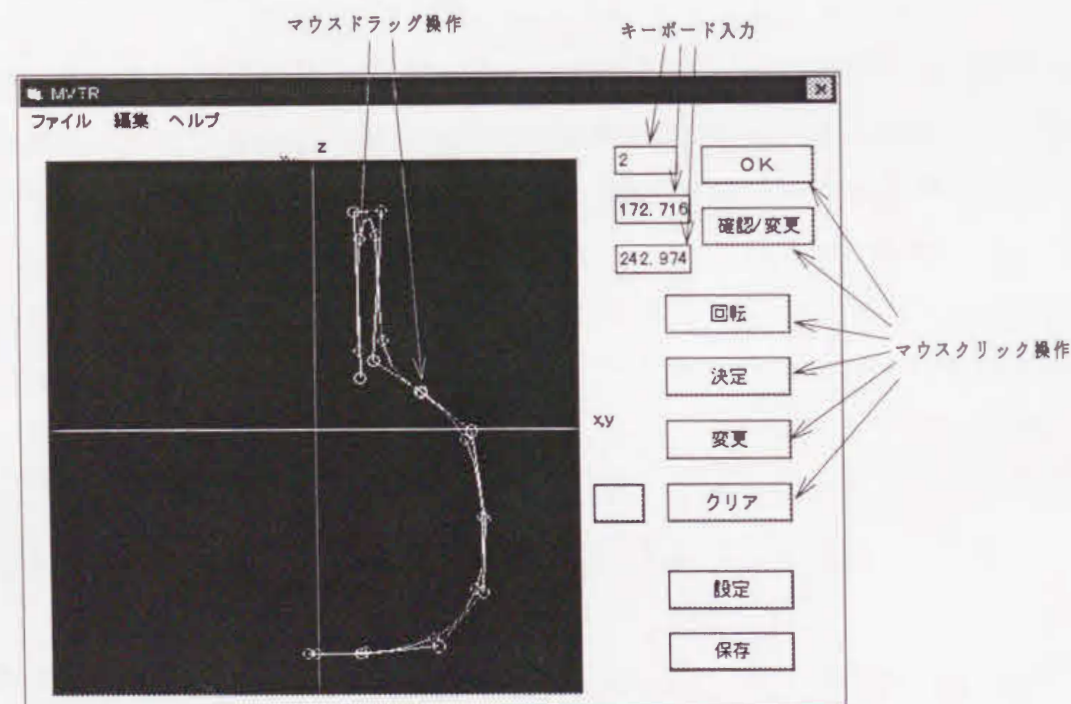


図5.6 実習環境

マウス操作は、マウス左ボタンのクリック、ドラッグの2種類がある。

(1) クリック操作

左ボタンのクリック操作で、操作ボタン、曲線、通過点、制御点の選択を行う。

(2) ドラッグ操作

左ボタンのドラッグ操作で、通過点、制御点、データ設定スクロールバー等の移動、3次元図形の回転を行う。

また、実習環境では操作のヘルプ機能を追加した。図5.7にヘルプウィンドウを示す。

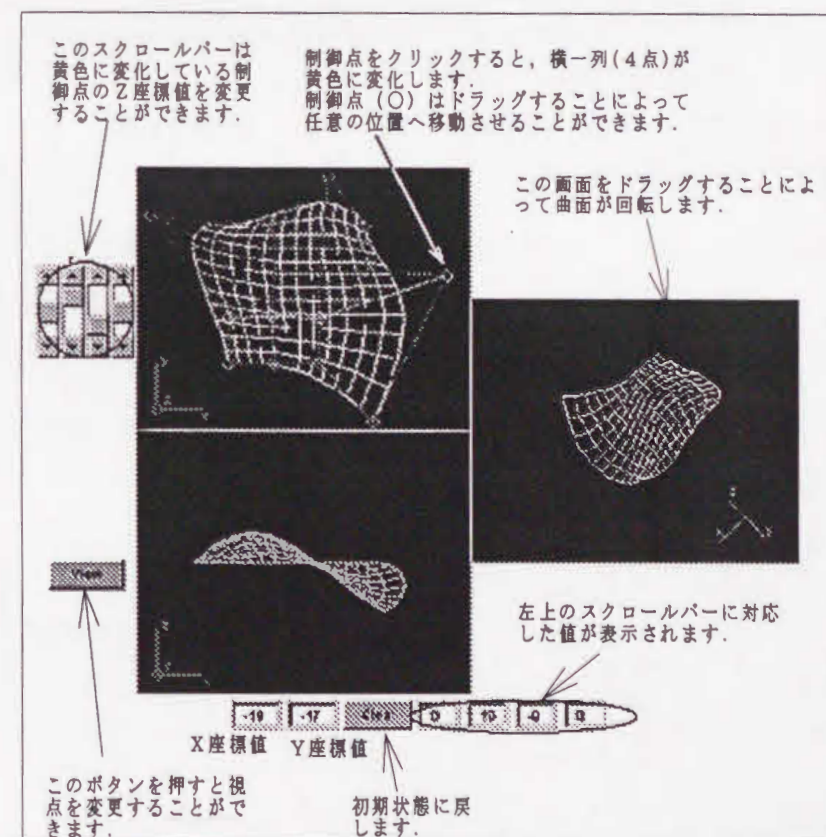


図5.7 ヘルプウィンドウ

5.6 システムの実装

WWW サーバは、NeXT (OS: NeXT STEP 3.0J) と PC-486GR (OS: PANIX 4.0) 上に構築した。

自由曲面を扱う場合に、重い処理にシェーディング処理がある。シェーディング処理プログラムの開発には膨大な時間がかかる。もし、開発できたとしても、プログラムサイズが大きくなり、FD ベースの学習システムでは実用に耐えないし、インターネット上で配信するには、ネットワークの負担が大きい。

一方、VRML の登場により、簡単に 3 次元 CG が可能になった。面を構成する頂点データと色情報をテキストベースで与えるだけで、シェーディングされた 3 次元 CG を高速に表示できる。

創成した自由曲面データを VRML 形式で出力し、表示は VRML を表示可能なブラウザに任せる方式で実習プログラムを開発した。したがって、実習用プログラム開発も Java のような実行速度が遅い言語でも問題はない。

実習プログラムの開発言語には、汎用性から Java で、実行速度の点から VB4 を選択し、両言語で開発した。

したがって、クライアントは、Netscape 等の Java と VRML 対応ブラウザと VB4 の実行可能機種を必要とする。

表 5.2 にサーバマシンが NeXT の場合のシステム構成を示す。

表 5.2 システム構成

	サーバマシン	クライアントマシン
マシンの概要	NeXT Station CPU M68040 メモリ 16MB HD 800MB	PC
OS	NeXT STEP 3.0J	Windows95
ソフトウェア	httpd ftpd popd	Netscape 3.0 Internet Explorer 3.0
開発ソフト	Perl Java	Visual BASIC V4.0

5.7 実習例

ここでは、実習例と作品例を示す。

図5.8は、WWWサーバ上の学習支援システムホームページである。

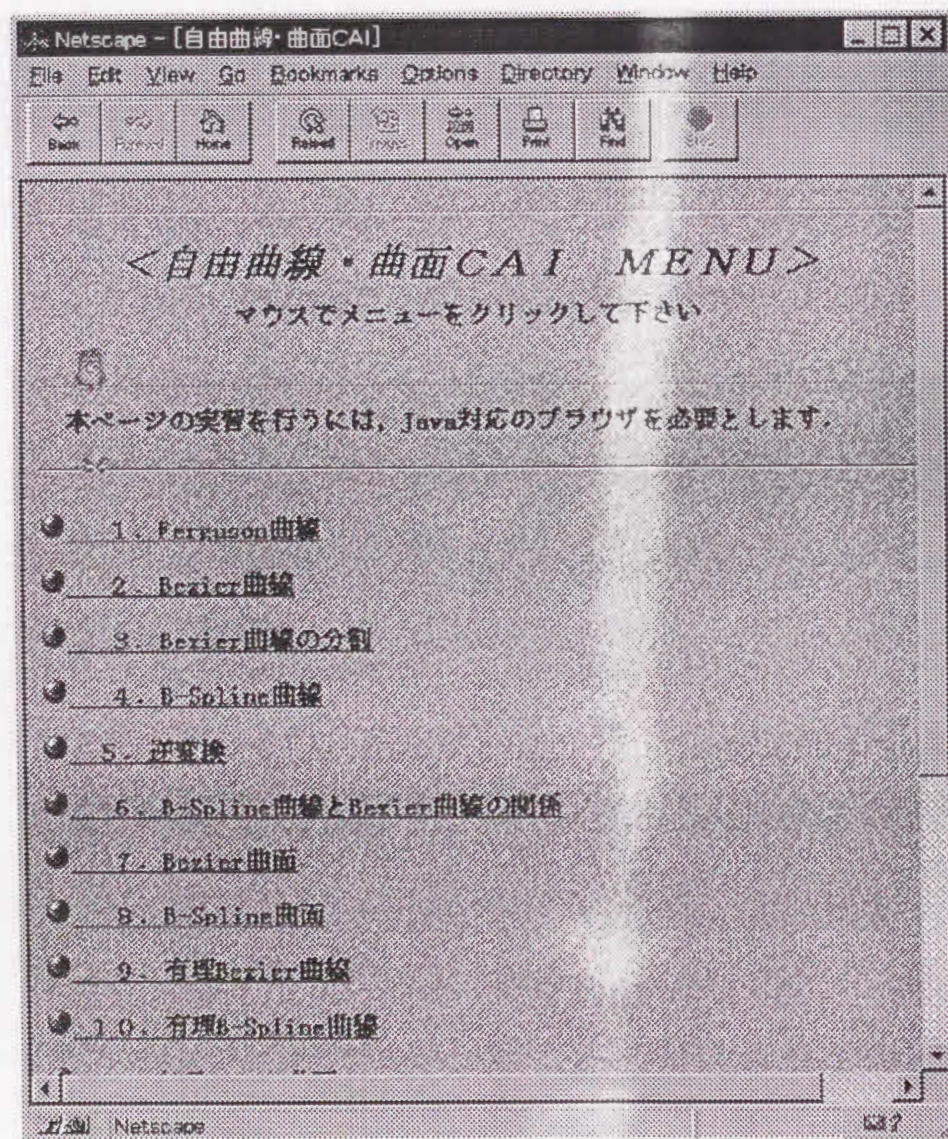


図5.8 学習支援システムのホームページ (Javaバージョン)

マウス操作でメニューを選択する。図5.9は Bézier 曲面の理論学習画面である。

学習者は、画面に提示された教材を参考に理論学習を進める。

理論学習を終了すると、実習課程に進み、学習者自身で自由曲線や曲面を創成できる。途中で分からなくなれば、既習フレームにバックトラックできる。

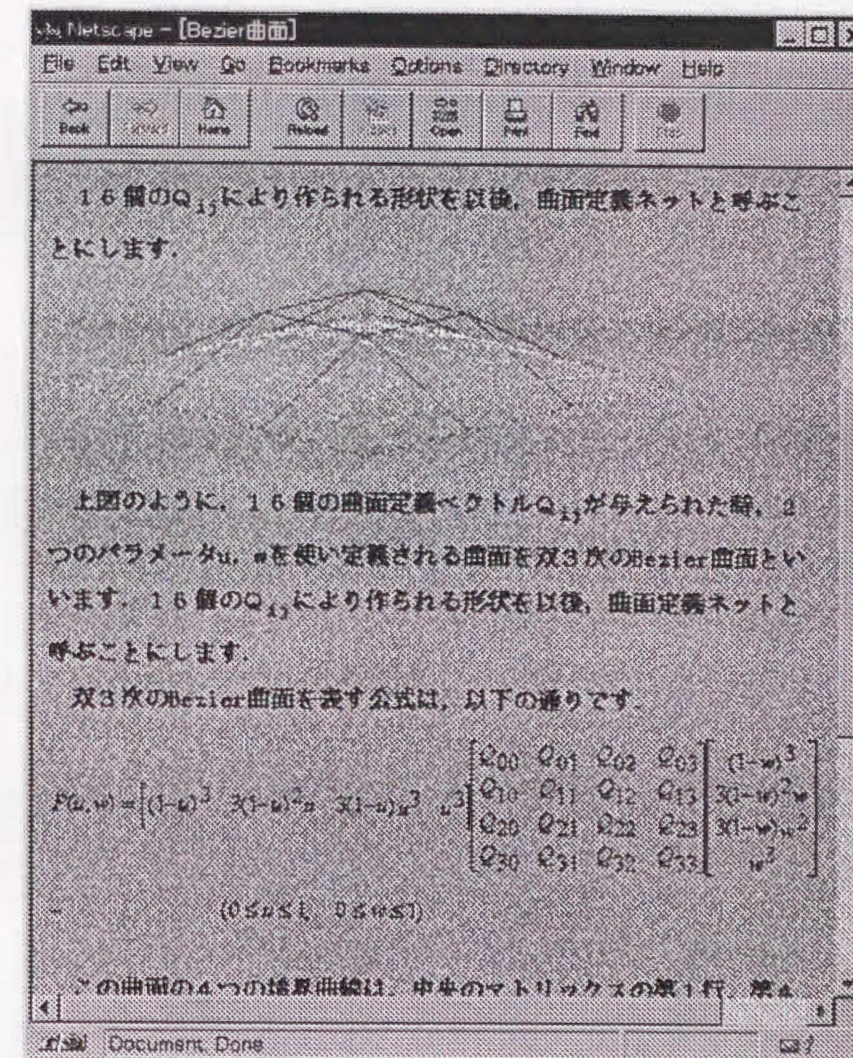


図5.9 Bézier 曲面の理論学習

なお、理論学習画面と実習画面は別ウィンドウで表示し、学習者は両画面を並べて対比しながら、学習を進める。

以下に、各種の実習画面を示す。

図5.10は通過点を与えて、B-Spline 曲線の創成を行っている。自動車ボディのシルエットの創成を行った結果である。



図5.10 B-Spline 曲線の逆変換実習 (Java バージョン)

図5.11は Bézier 曲面の創成実習である。創成した曲面パッチはワイヤフレームだけでなく、VRML 形式でも表示可能である (図5.12)。

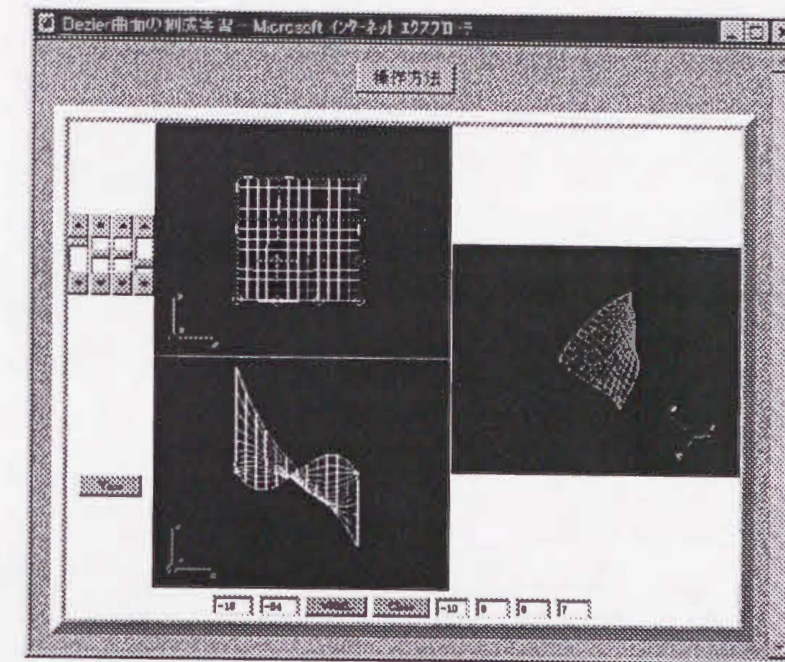


図5.11 Bézier 曲面の創成実習 (Java バージョン)

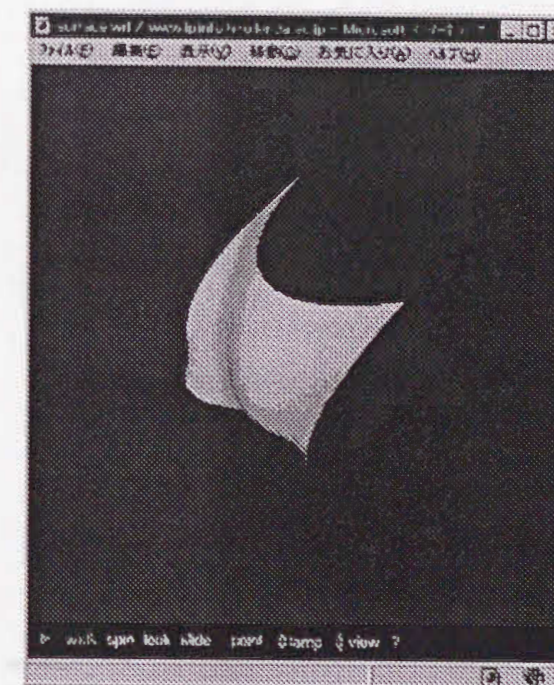
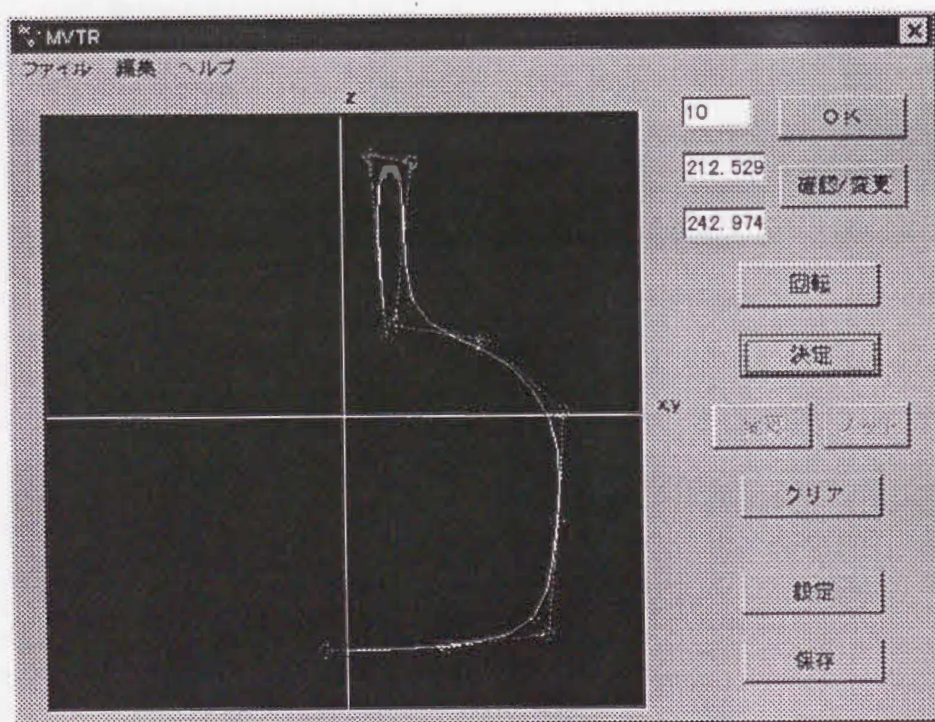
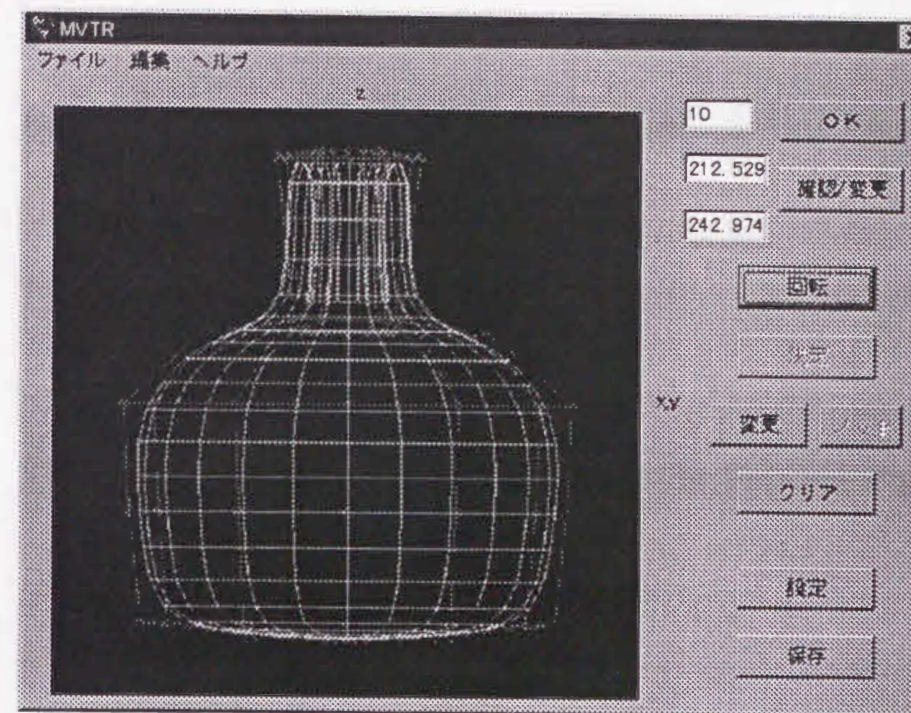


図5.12 VRML による曲面表示 (Java バージョン)

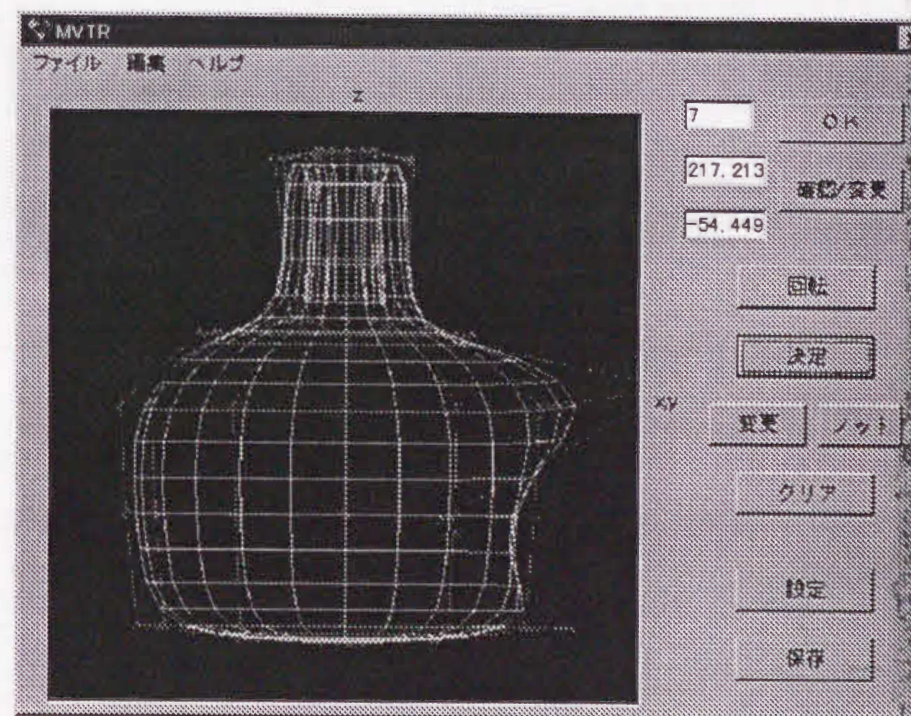
用意した12項目の学習を終了すると、総合実習課程に進む。総合実習では、制御点あるいは通過点を与えて創成したB-Spline曲線を、360度回転し、3次元モデルの創成を行うことができる。また、回転曲面によって創成した3次元モデルの一部の制御点を移動させて局所変形することも可能である。図5.13に総合実習の結果を示す。(a)は通過点を与え、逆変換によってB-Spline曲線を作成した様子を、(b)は(a)を回転して得られた回転曲面、(c)は一部の制御点を移動して局所変形を行った曲面、そして(d)はVRML形式で最終結果を表示している。



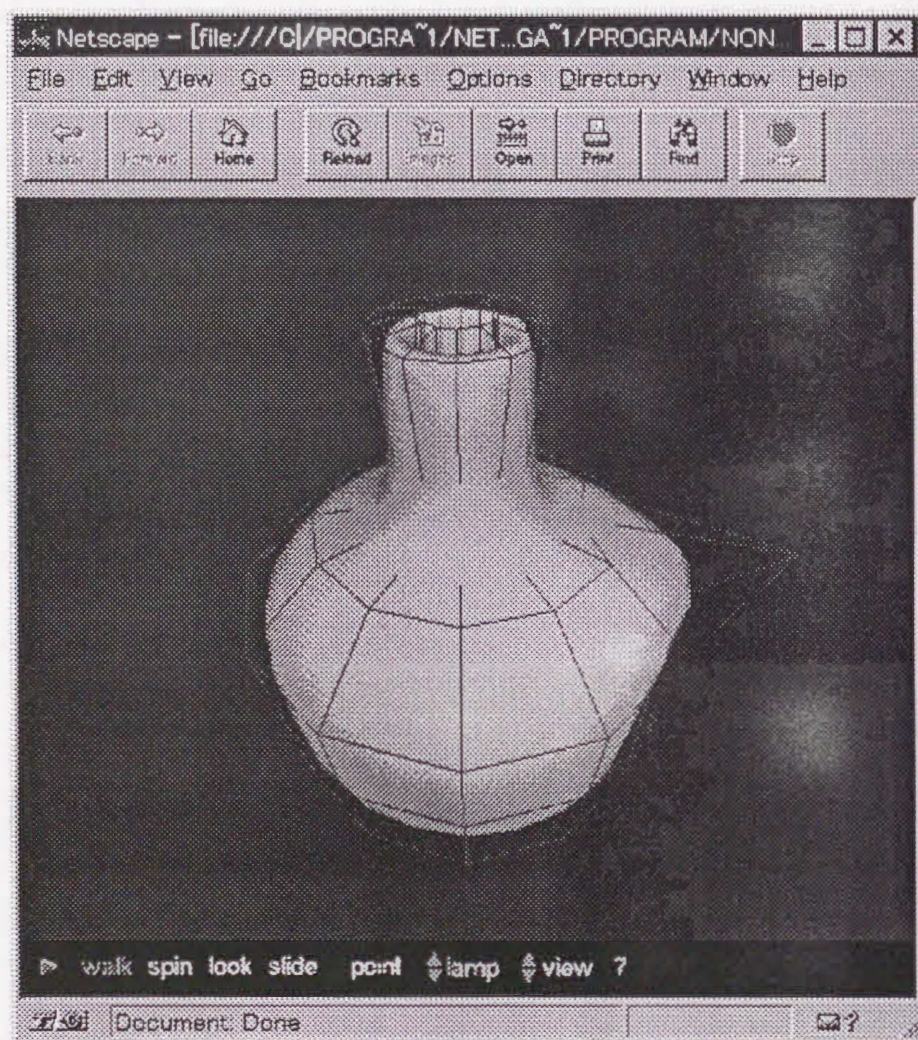
(a) シルエットラインの作成



(b) 回転曲面



(c) 制御点移動による局所変形



(d) VRML による表示

図 5.13 総合実習による作品例 (VB4 バージョン)

図 5.13 では、制御点や制御ポリゴンも表示している。また、最初に与える点列も、本実習例では通過点を与えたが、制御点を与えることも可能である。回転曲面も円型だけでなく、楕円型も創成できるので、洗剤容器のような形状も創成可能である。これらは図 5.13 (a) でシルエットライン作成の前に設定ボタンを押すことで初期設定可能である。

5.8 結 言

インターネット上で動くネットワーク型 CAD 学習システムを提案した。

本システムは、WWW サーバ上に構築した教材データベースを、Netscape 等のブラウザでアクセスし学習を進めることが可能である。

HTML で記述したテキスト教材で理論学習を進め、Java あるいは VB4 で記述した実習プログラムで実習を行い、しかもそれぞれ独立したウィンドウ上で両者を対比しながら学習が可能である。実習では学習者自身のクリック、ドラッグのようなマウスの基本操作だけで、自由曲線や曲面の創成学習が可能である。

特に、双方向通信可能なインターネットを利用したことで、教材管理、学習者と教師との質問、回答、学習履歴や作品の収集もリアルタイムで行える。また、創成作品の表示に VRML を採用したことで、実際の CAD システムと変わらない操作環境になったと同時に、創成作品は WWW サーバ上に置くことにより、インターネットを介してあらゆるサイトから閲覧できるので、今後は創成作品展示会を開催したいと考えている。

また、本システムによる学習環境はインターネットを介した C/S システムであり、学習する場所と時間を選ばないという特徴がある。したがって、大学内の利用に留まらず、広く学外からの利用も可能である。

第6章

システムの評価

6.1 緒言

第3章でスタンドアローン型学習システムを、第5章でネットワーク型学習システムを提案した。両システムは理論学習と実習による学習支援を行うことを目的としている。特に、実習環境を重視し、実習を通じて自由曲線や曲面の創成を支援する。

本章では両システムの教育効果について述べる。実際には、本システムを教育現場に持ち込み、

- (1) 講義の提示手段として。
- (2) 講義、実習の補助教材として。
- (3) 予習、復習用教材として。

利用した。その後、学習者にアンケート調査を実施して評価した。

6.2節でスタンドアローン型システムの評価、6.3節でネットワーク型システムの評価について述べる。

6.2 スタンドアローン型システムの評価

6.2 スタンドアローン型システムの評価

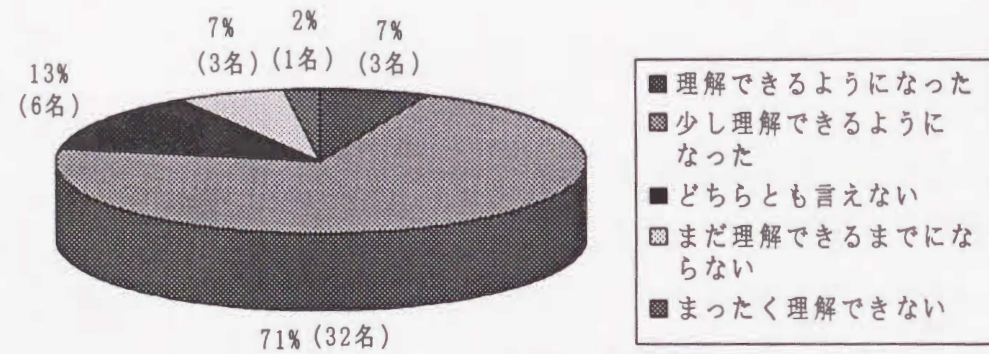
学習システムの有効性を確認するため実験を行った。

被験者は電子情報工学科3回生の「図形処理工学」と「形状設計CAD」を受講している学生45名である。実験方法を表6.1に示す。実験後にアンケート調査を行い、教育効果の検証を行った。

表6.1 実験方法

対象学生	電子情報工学科3回生45名	
実験日時	1回目	1994年6月20日(月)
	2回目	1994年6月27日(月)
実験内容	1回目	講義で既習内容の自由曲線の創成まで (表3.1の教材番号①から⑤まで)
	2回目	講義で未習の自由曲面の創成まで (表3.1の教材番号⑥から⑩まで)
評価方法	2回の実験後、アンケート調査による	

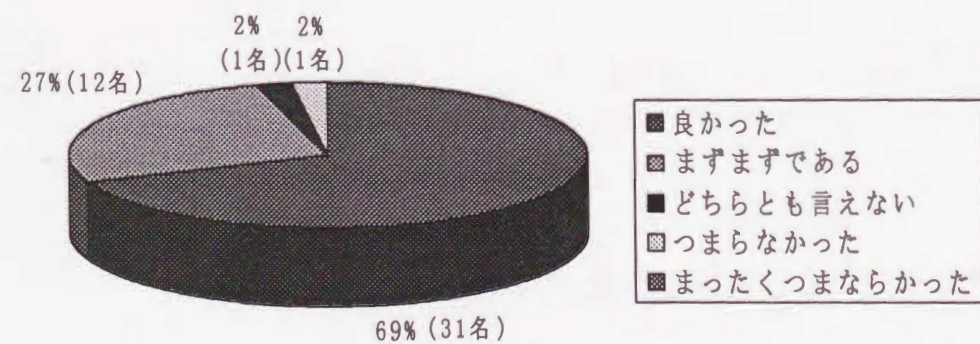
アンケート調査の集計結果を図6.1に示す。



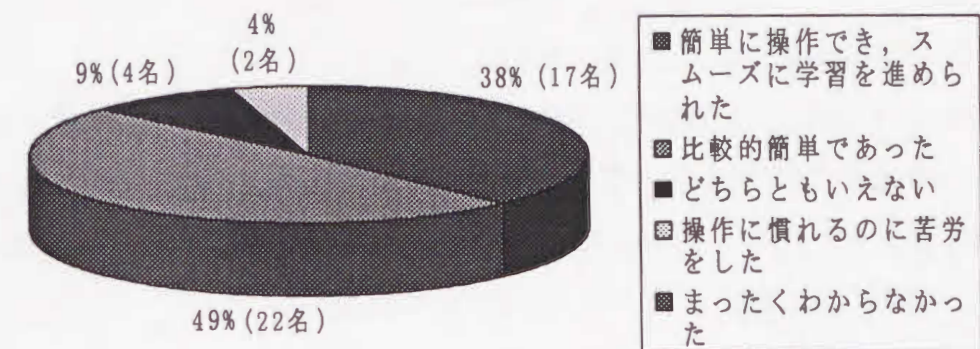
(a) 創成原理の理解度



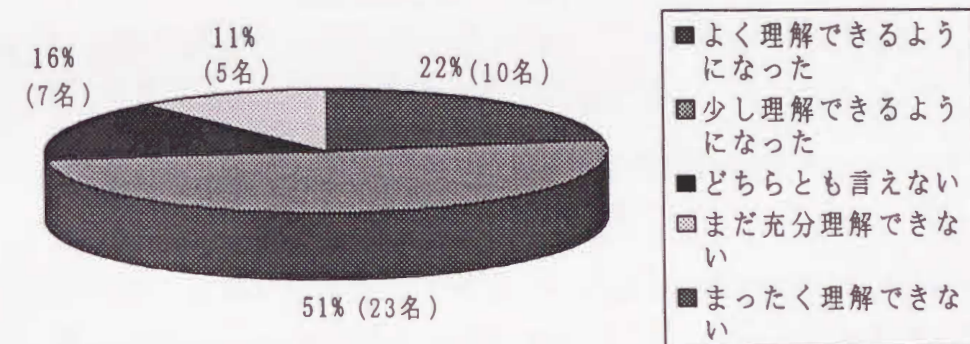
(b) 3次元CADへの興味付け



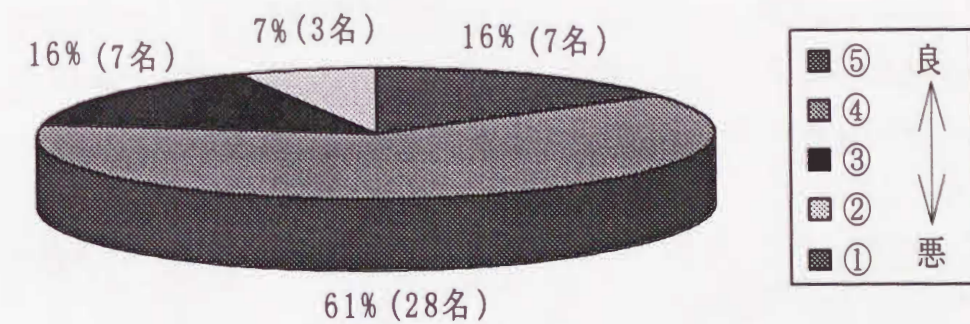
(c) 講義だけの場合と比較して



(d) 操作性について



(e) 実習課程の評価について



(f) 本システムの総合評価

図6.1 アンケート調査結果

以下にアンケート結果から、3.3節で述べた目標別にまとめる。

(1) 講義の補助教材として利用できる。

教材提示の手段として利用してみた。従来の板書やOHPなどのプレゼンテーション手段に比較して、任意の曲線や曲面が提示できる。学生の理解も早いと感じられる。

また、学生の反応はアンケート調査でも良好である。

(2) 予習、復習教材として利用できる。

アンケートに答えてくれた45名の学生のうち4名を除いて、何らかの形で自習用に利用したいと考えている。事実、何人かの学生にはシステムを配布した。本システムはフリーウェア宣言しているので学生の間にはかなり流布して、利用されていると思われる。

(3) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

学生に実習をやらせてみると、実に様々な曲線や曲面を創成する。それが連鎖反応になり競って他人とは異なる曲線や曲面を創成しようと努力している。まさに遊び感覚で学習を進めている。

アンケート結果でも(a)創成原理の理解度、(b)3次元CADへの興味付け、および(e)実習課程の評価などで高い評価がでている。

以上の結果から見る限り、学生には概ね好評で、自由曲線、曲面の創成を支援する学習システムの構築という初期の目標はほぼ達成できたと確信している。

実際に授業で使用してみて、次のような点が今後の課題として残った。

数人の学生から「解説文章が少し分かり難い」、「自由曲面が少し見難い」との指摘があった。そこで、隠線消去、マルチメディア化、マルチウィンドウ化を進め、より使いやすい学習支援システムに改善するために、第5章で提案したネットワーク型学習システムの構築に至った。

6.3 ネットワーク型システムの評価

本システムを実際の教育現場で使用し、教育効果の検証を行った。被験者は電子情報工学科3回生全員85名である。

実験方法を表6.2に示す。実験後に目安箱機構を利用してデータ収集を行った。

表6.2 実験方法

対象学生	電子情報工学科3回生85名
実験日時	1995年10月～12月 電子情報工学実験Ⅳの時間
実験内容	実験実習のテーマであるCAD実習後、スタンダードアローン型システムと本システムを利用して、感想を求めた。
評価方法	実験後、目安箱機構によるデータ収集

以下、5.3節で述べた目標別にまとめる。

(1) 学習する時と場所を選ばない。

今回の実験では、インターネットに接続されている実験室のPCを利用させたが、学生には好評で、センターのPC端末や自宅からのダイヤルアップIP接続で利用されている。実験後のWWWアクセスログファイルの解析結果では、少なくとも30名の利用者があった。

また、CAD 教育だけでなく、他の専門科目の CAI もインターネット上に展開してほしいとの声もあった。

(2) 講義の補助教材として利用できる。

講義科目である「形状設計 CAD」と電子情報工学実験Ⅳの「CAD 実習」は平行に開講されている。「形状設計 CAD」の講義を「CAD 実習」より後に受講する場合もある。「形状設計 CAD」で教材提示の手段として利用してみた。従来の板書や OHP によるプレゼンテーション手段では、任意の曲線や曲面が提示できないが、本システムは講義の中で、自由な形状を創成し提示できる。

(3) 予習・復習教材として利用できる。

「形状設計 CAD」は選択科目で、受講生は 85 名中 56 名であった。(1) で述べたように、実験後には、ダイヤルアップでの自宅から、あるいは PC 端末室からのアクセスが増加したが、追跡調査の結果、約 30 名の利用者の内 20 名は講義の予習・復習に利用していた。

(4) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

本システムは理論式の持つ制御点、接線ベクトルおよび重みといったベクトル量と創成された曲線・曲面が同時に表示されるので、意図する形状を創成するために、

- ① どの制御点を位置ベクトルの値をいくりにすればよいか。
- ② どの制御点の接線ベクトルの値をいくりにすればよいか。
- ③ どの制御点の重みを、どの程度の値にすればよいか。

を学習者自身で発見する。その結果、実に様々な曲線や曲面を創成する。曲線では、自動車のボディライン、総合実習では壺やボトル、帽子、洗剤容器等の形状創成が目立った。

スタンドアローン型システムとの比較では、実習課程に対する好意的な意

見が多かった。特に、スタンドアローン型システムではワイヤフレームでしかも軸固定の表示であった。本システムは最終の表示手段として VRML を採用したことにより、シェーディングされた曲面表示となり、しかも任意方向からの確認が容易となった。システム全体の評価についても、図 6.2 に示すように学生には好評であった。

ただ、いま一つと答えた 6% の学生の中に、「今回の自由曲面の創成実習では、1 つの曲面パッチの創成しか行えないのでもの足りない」という意見があった。確かに、1 つの曲面パッチの創成だけでは、本当の意味での自由曲面の創成とはいいいがたい。しかし、本システムの目的である自由曲線・曲面の創成原理の支援という点から考えると、初期の目的は達成できたと確信している。

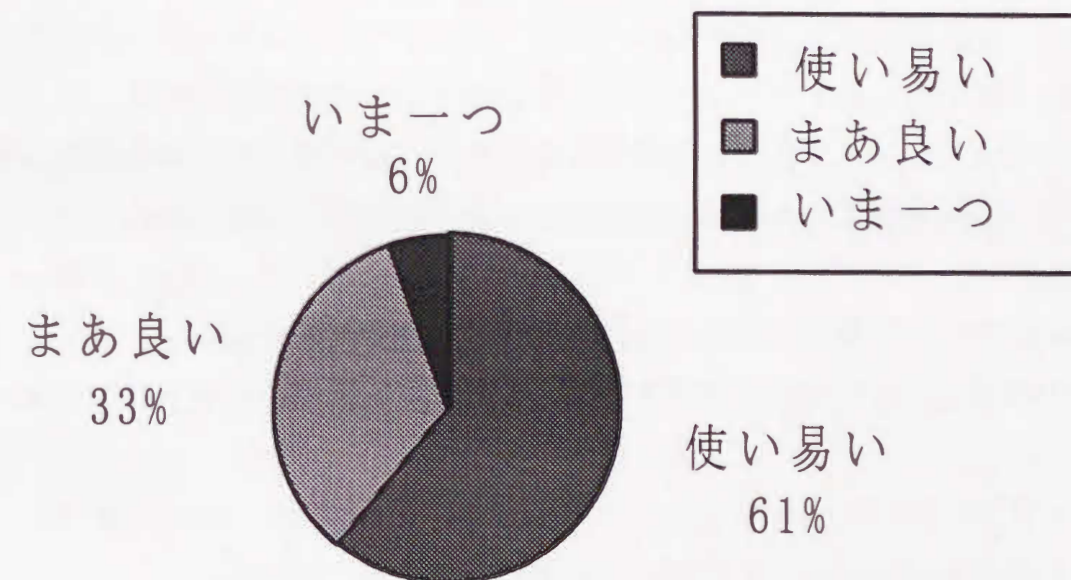


図 6.2 システムの総合評価

6.4 結 言

自由曲線や曲面の創成を支援する2つの学習システムの教育効果について述べた。

PCによるスタンドアローン型学習システムは、MS-DOS環境で手軽に利用できる点が特徴であり、初期の3つの開発目標であった、

- (1) 講義の補助教材として利用できる。
- (2) 予習、復習教材として利用できる。
- (3) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

はその目的を達したと考えている。

特に、実習環境は教材提示の手段として十分利用でき、従来の板書やOHPなどのプレゼンテーション手段に比較して、任意の曲線や曲面が提示できる。

また、希望する学生に学生にはシステムを配布した。自宅で利用されていると思われる。

学生はコンピュータによる実習が好きで、実に様々な曲線や曲面を創成する。それが連鎖反応になり競って他人とは異なる曲線や曲面を創成しようと努力していた。

WWWを利用したネットワーク型学習システムは、インターネットを介してマルチメディア環境で実習できる特徴があり、初期の4つの開発目標であった、

- (1) 学習する時と場所を選ばない。
- (2) 講義の補助教材として利用できる。
- (3) 予習・復習教材として利用できる。
- (4) コンピュータとの対話環境により、学習者が自主的に発見的学習を進めることができる。

はその目的を達したと考えている。

インターネット上に展開したことにより、学習者は、学内はもちろん自宅からでもアクセスし、予習・復習等の学習ができる。

学習者は、実習の全課程を通じて、意図する形状を創成するために、

- ① どの制御点を位置ベクトルの値をいくらにすればよいか。
- ② どの制御点の接線ベクトルの値をいくらにすればよいか。
- ③ どの制御点の重みを、どの程度の値にすればよいか。

を学習者自身で発見する。

スタンドアローン型システムとの比較では、実習課程に対する好意的な意見が多かった。特に、スタンドアローン型システムではワイヤフレームでしかも軸固定の表示であった。ネットワーク型システムは最終の表示手段としてVRMLを採用したことにより、シェーディングされた曲面表示となり、しかも任意方向からの確認が容易となった。システム全体の評価についても、学生には好評であった。

一方、教師は講義や実験実習時の補助教材として、また、プレゼンテーション手段として利用できる。従来の板書やOHPによるプレゼンテーション手段では、任意の曲線や曲面が提示できないが、本システムは自由な形状を創成し提示できる。

以上、2つのシステムの評価の概要について述べた。前者は手軽なシステム、後者はインターネットを介して、より実際のCADシステムに近い環境のシステムという位置付けであるが、それぞれのシステムの開発目標は達成し、CAD教育に有効な学習支援システムといえる。

第7章

結 論

本論文では、3次元CAD教育の中でも、特に自由曲線・曲面の創成を支援する2つの学習システムを提案した。更に、両システムを実際の教育に利用し、それらの有効性を確認した。

機械設計分野あるいは産業デザイン分野での3次元化が進む中で、大学におけるCAD教育は3次元CADを指向する必要がある。3次元CAD教育は多くの内容を含んでいるが、その中でも、より自由な形状設計を可能にする自由曲線や自由曲面の取り扱いが重要である。

しかし、3次元CADシステムに採用されている自由曲線や曲面は、3次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル、接線ベクトル、重みといった各種ベクトルをブレンディング関数と呼ぶ3次多項式と混ぜ合わせて創成する。

このとき、創成理論を講義で聞いても、学習者には、目には見えない各種ベクトルの値と提示される自由曲線や曲面との関係把握が難しい。また、3次元CADシステムによる実習でも、各種ベクトルが表示されない場合も多く、創成原理を理解できないで、単なる創成実習に終わってしまう。

そこで、本論文では2つの学習支援システムを提案した。

1つは、PCによるスタンドアローン型学習システムで、フロッピーディスクベースのMS-DOS環境で動作する手軽なシステムである。本システムは、理論学習を支援するフレーム型CAIと、実習を支援するシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムである。フレーム型CAIを実現するために、教材ファイルの基本的なデータ構造はフレームとし、各フレームをポインタで結合した。フレームの大きさは一定ではないが、ポインタは固定

長である。ポインタの制御により順次学習、繰り返し学習、バックトラックが実現でき、ポインタの記録は学習進捗状況の解析に利用できる。また、システムの小型化、教材管理を容易にするため、オーバーレイ構造を採用した。

実習機構はマウス操作、キーボード操作で任意の曲線や曲面を創成できる。この場合、制御点の位置ベクトル、接線ベクトルおよび重みといった各種ベクトルは画面上に表示される。これらのベクトルの変更も可能で、理論式と比較しながら実習が可能である。本システムは手軽であることが最大の特徴で、多くの学生が利用した。

しかし、スタンドアローン環境であるが故の問題点を残していた。すなわち、教材管理の困難さ、学習履歴や学習結果等のデータ収集の困難さ、マルチメディア化の困難さ、MS-DOSマシンメモリ容量の制限等である。

次に提案したシステムは、ネットワーク型学習システムである。昨今のPCの機能増大、インターネットの進展で各種の制限が緩和されつつあることに着眼し、インターネット上で学習システムを構築することを考えた。インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用すれば、先のスタンドアローン型学習システムの問題点が解決できる。テキスト教材や実習プログラム教材はWWWサーバ上で一括管理することで教材管理の困難さは解消し、学習履歴はWWWサーバのアクセスログファイルとして残り、学習結果はネットワークで収集し、最近話題のVRMLで表示することで表示の問題は解決する。また、ネットワークの双方向性を利用すれば学習者と教師間のQ&Aも行える。

具体的には、テキスト教材はHTMLで記述し、教材中の図や式は.gif形式のイメージデータとしてリンクさせた。実習プログラム教材は実行速度の点からVB4で、汎用性からJavaで開発した。これらの教材はWWWサーバで管理する。本システムも、理論学習を支援するフレーム型CAIと、実習を支援するシミュレーション型CAIを付加したハイブリッド型システムである。

フレーム型 CAI は、WWW システムが本来ページという単位で実現されているマルチメディア型データベースシステムであることを利用することで実現した。フレームすなわちページを順にたどれば順次学習となり、ブラウザのスクロール機能により繰り返し学習、バックトラックが実現できる。

実習ではすべての操作をマウス操作だけで可能にし、操作性を向上させた。一部、キーボード操作でデータ入力も可能にした。マウス操作のクリック操作で各種の選択、ドラッグ操作で制御点の位置ベクトル、接線ベクトルおよび重みの変更を行い、任意の曲線や曲面を創成できる。創成した曲面はワイヤフレーム表示だけでなく、VRML によりシェーディングされた状態で、任意の方向から見る事ができる。この場合も、制御点の位置ベクトル、接線ベクトルおよび重みといった各種ベクトルは画面上に表示される。

本システムはインターネット上で動作することが最大の特徴で、インターネットを介して、学内はもとより学外からも多くの利用者がある。

両システム共、学習者自身の操作で自由曲線や曲面の創成学習ができることで、講義と CAD システムによる実習に比較して、発見的学習が可能となり、学習者にとって新鮮味が生まれ、興味付けにも一役買っていると考えられる。

以上、3次元 CAD 学習支援システムについて述べた。今後は、さらに改良につとめ、CAD 教育の充実に寄与したいと考えている。

また、本研究で得られた成果は、他の教科に応用可能であり、多くの協力者を得て、あらゆる教科の学習支援システムを構築し、より魅力的な教育環境にすべく努力する所存である。

謝 辞

本研究全体をまとめるにあたり、徳島大学工学部知能情報工学科 矢野米雄教授には、暖かいご理解とご指導を賜り、3次元 CAD 学習支援システムに関する研究の機会を与えて頂き、心から感謝申し上げます。

本論文の作成にあたり、ご指導、ご教示を賜った徳島大学工学部知能情報工学科 青江順一教授、森井昌克教授の両教授に深く感謝申し上げます。

また、富田 豊 元近畿大学工学部教授（元徳島大学教授）には、研究面では3次元 CAD という興味あるテーマを与えていただき、研究者に対する心構えなど公私にわたるご指導を頂きました。心からお礼申し上げます。

最後に、常に精神的な支えになり、暖かく見守ってくれた家族全員に心から感謝します。

ここに記して、以上の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 島田静雄, 近藤邦夫, 佐藤 尚, 黒田章裕: “情報工学実験における形状モデリング”, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 11, pp. 2313-2319 (1993).
- [2] 邊 吾一, 西 恭一: “CAD教育支援システムの開発”, 第8回私情協大会資料, pp. 181-184 (1994).
- [3] 千代倉弘明: “グラフィックス機能論”, p. 228, 産業図書, 東京 (1995).
- [4] G. O. Gellert: “Geometric Computing-Electronic Geometry for Semiautomated Design”, Machine Design, March (1965).
- [5] S. A. Coons: “Surface for computer-aided design of space figures”, M. I. T. ESL. 9442-M 139, January (1964).
- [6] S. A. Coons: “Surface for Computer Aided Design of Space Forms”, MIT Project MAC, TR-41, June (1967).
- [7] P. Bézier: “Numerical Control”, Mathematics and Applications, John Wiley & Sons, London (1972).
- [8] P. Bézier: “The Mathematical Basis of UNISURF CAD System”, Butterworths (1986).
- [9] R. F. Riesenfeld: “Application of B-Spline Approximation to Geometric Problems of Computer-aided Design”, PhD thesis, Syracuse University, Syracuse, N. Y. (1972).
- [10] G. Frain: “Algorithms for Rational Bézier curves”, Computer-Aided Design, Vol. 15, pp. 73-77 (1983).

参考文献

- [11] L. Piegl: “Representation of rational Bézier curves and surface by recursive algorithms”, Computer-Aided Design, Vol. 18, pp. 361-366 (1986).
- [12] L. Piegl and W. Tiller: “Curve and surface construction using rational B-splines”, Computer-Aided Design, Vol. 19, pp. 485-498 (1987).
- [13] 斉藤 剛, 穂坂 衛: “有理 Bézier および有理スプライン曲線曲面の直感的構成法と形状制御”, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 4, pp. 448-459 (1991).
- [14] G. Frain 著, 木村文彦監修: “CAGDのための曲線・曲面論”, p. 330, 共立出版, 東京 (1991).
- [15] 千代倉弘明: “ソリッドモデリング”, 工業調査会, 東京 (1985).
- [16] 山口富士夫: “形状処理工学 [I]”, p. 193, 日刊工業新聞社, 東京 (1988).
- [17] 黒瀬能幸, 富田 豊, 真鍋俊彦: “パソコンによる3次元CAGD教育システムの開発”, 教育情報研究, Vol. 6, No. 4, pp. 3-11 (1991).
- [18] 黒瀬能幸, 富田 豊, 岡中正三: “自由曲面創成のためのCAD教育システム”, CAI学会第17回全国大会講演論文集, pp. 117-120 (1992).
- [19] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムとその教育効果”, 教育システム情報学会第20回全国大会講演論文集, pp. 323-326 (1995).
- [20] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “自由曲線・曲面の創成を支援するCAD学習システムの構築と評価”, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 11, pp. 2001-2009 (1996).

- [21] 中村直人, 小林政尚, 宮原一弘, 竹谷 誠: “数学学習環境におけるマルチメディアネットワークを活用した電子教科書の設計”, 教育システム情報学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 39-50 (1995).
- [22] 加藤直樹, 木下康彦: “マルチメディア教材開発のための資料データベースのインターネットによる流通”, 教育情報研究, Vol. 11, No. 1, pp. 13-18 (1995).
- [23] 岡崎泰久, 渡辺健次, 近藤弘樹: “WWW (World-Wide Web) を利用した微分計算を指導する知的CAIシステム”, 教育システム情報学会第20回全国大会講演論文集, pp. 245-248 (1995).
- [24] I. Kobayashi, M. Iwamoto, T. Watanabe, H. Nunokawa and M. Miyazaki: “Educational Use and Influence of the Internet for Students with Physical Impairments”, Proc. of ERI'96, pp. 45-50, Fukuoka, Japan December (1996).
- [25] S. Hirokawa, T. Miyahara, T. Mine, T. Shoudai, M. Mori, H. Sato and M. Takeda: “Teaching 2300 Students with WWW - Practice and Experience at Kyushu University”, Proc. of ERI'96, pp. 59-64, Fukuoka, Japan December (1996).
- [26] Y. Okazaki, K. Watanabe and H. Kondo: “WWW BASED ITS Guiding Differential Calculations: Individualized Tutoring Mechanism in the WWW framework”, Proc. of ERI'96, pp. 65-72, Fukuoka, Japan December (1996).
- [27] T. Hayashi, Y. Hayashida: “Shogi Learning on Information Network”, Proc. of ERI'96, pp. 165-168, Fukuoka, Japan December (1996).
- [28] K. Yamamoto, M. Shinji and H. Kimura: “Lifelong Education and the Internet”, Proc. of ERI'96, pp. 175-178, Fukuoka, Japan December (1996).

- [29] T. Takahashi: “On the Efficient Use of Internet and Computer Algebra System in Mathematics Education”, Proc. of ERI'96, pp. 183-185, Fukuoka, Japan December (1996).
- [30] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの構築”, 電気・情報関連学会中国支部第46回連合大会講演論文集, pp. 315-316 (1995).
- [31] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システム”, 日本OR学会中国・四国支部ネットワーク研究部会研究会論文集, pp. 45-48 (1996).
- [32] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの構築”, 電子情報通信学会技術研究報告, ET95-115, pp. 25-32, Mar (1996).
- [33] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD教育システムの実習環境”, 教育システム情報学会第21回全国大会講演論文集, pp. 241-244 (1996).
- [34] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD学習システムの概要とデモ”, 教育システム情報学会研究報告, Vol. 96, No. 2, pp. 9-16 (1996).
- [35] 黒瀬能幸, 矢野米雄, 富田 豊: “インターネットを利用した3次元CAD学習支援システムの構築”, 電子情報通信学会論文誌 (採録決定).
- [36] Y. Kurose, Y. Yano and Y. Tomita: “The CAD Learning System using Internet”, Proc. of ERI'96, pp. 169-174, Fukuoka, Japan December (1996).
- [37] 日経CG編: “CADの基礎知識”, p. 440, 日経BP, 東京 (1994).
- [38] V. B. Anand: “Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers”, John Wiley & Sons, p. 407, New York (1993).

参考文献

- [39] 山口富士夫：“形状処理工学[Ⅱ]”，p. 218, 日刊工業新聞社，東京（1988）．
- [40] 山口富士夫：“形状処理工学[Ⅲ]”，p. 273, 日刊工業新聞社，東京（1988）．
- [41] 鳥谷浩志，千代倉弘明：“3次元CADの基礎と応用”，p. 228, 共立出版，東京（1991）．
- [42] D. Taylor：“Computer-Aided Design”，Addison-Wesley, p. 492, New York（1992）．
- [43] 穂坂 衛：“CAD/CAMにおける曲線曲面のモデリング”，p. 445, 東京電機大学出版局，東京（1996）．



論文審査の結果の要旨

報告番号	甲工 乙工 工修	第93号	氏名	黒瀬 能 聿
審査委員	主 査 矢 野 米 雄 副 査 青 江 順 一 副 査 森 井 昌 克			
学位論文題目				
3次元CAD学習支援システムに関する研究				
審査結果の要旨				
<p>多くの工学系大学では、従来の設計製図にかえ、CADシステムを利用したCAD教育を実施している。大学におけるCAD教育としては、2次元CADシステムによる単なる製図教育に留まるのではなく、3次元CADを目指した教育の必要性が叫ばれている。3次元CADでは、より自由な形状設計を行うために、自由曲線や自由曲面の取り扱いが重要なテーマの1つである。</p> <p>3次元CADで扱う自由曲線や曲面は、3次元空間上の制御点と呼ばれる位置ベクトル、制御点の接線ベクトルや重みなどを与えて表現する。初心者にとっては、コンピュータグラフィックス上に表示される曲線や曲面と、自由曲線や曲面創成式が持つこれらの値との関係把握が非常に難しいと考えられる。</p> <p>本論文では、3次元CAD教育を進める上で、学習者にとって理解が困難であると考えられる自由曲線や曲面の創成を支援する学習システムに関する研究成果をまとめたものであり、次の7章から構成している。</p> <p>第1章の緒論では、本研究の目的を述べ、本研究の位置づけを行うと共に、本研究によって得られた諸成果を概説する。</p> <p>第2章では、工学系の大学で実施されているCAD教育の現況、CAD教育の目的、および実際にCAD教育を実施する場合の問題点について言及する。</p> <p>第3章では、第2章で述べた問題解決の1つとして、パーソナルコンピュータによる手軽なスタンドアローン型CAD学習システムを提案する。本システムは、フロッピーディスク1枚に収まる手軽なシステムであるが、黒板の講義と実際のCADシステムによる実習だけでは理解しにくい自由曲線や曲面の創成原理を、学習者がコンピュータと対話しながら学習を進めることで、理解を助けることに特徴がある。</p> <p>第4章では、第3章で提案したシステムの問題点を述べ、より充実した学習環境を提供するネットワーク型CAD学習システムの可能性を探る。スタンドアローン型CAD学習システムは、教材管理の困難さ、学習履歴収集の困難さ、マルチメディア化の困難さ等の問題点が残っていた。一方、近年のマルチメディア化が可能なインターネットの普及に伴い、インターネットを教育に利用する試みが各地で開始された。インターネットを利用することで、スタンドアローン型CAD学習システムの問題点は解決する。</p> <p>第5章では、第4章で考察したインターネットを利用したネットワーク型CAD学習システムを提案する。インターネットが持つグローバル性、マルチメディア性、双方向性、同時性等を利用したネットワーク型学習システムは、大学内の利用に留まらず、広く学内外からの利用が可能になり、生涯学習、社会人教育への展開が計れる。</p> <p>第6章では、提案した2つのシステムを実際の教育現場に持ち込み、教育効果の検証を行いシステムの評価について述べる。</p> <p>第7章は結論であり、本研究で得られた諸結果をまとめると共に、今後の課題について述べる。</p> <p>以上の結果より、本研究において提案された手法は理論的に独創性があり、それらを応用した結果の一部は実用性もあるので、本論文は博士（工学）の学位授与に値するものと判定する。</p>				